

## **DEVELOPMENT OF AUGMENTED REALITY APPLICATION FOR GEOMETRY LEARNING USING THE MARKER BASED TRACKING METHOD**

**Pangeran Fadillah Pratama<sup>\*1</sup>, Muhammad Luthfi Hamzah<sup>2</sup>, Idria Maita<sup>3</sup>, Megawati<sup>4</sup>, Tengku Khairil Ahsyar<sup>5</sup>**

<sup>1,2,3,4,5</sup>Information Systems, Faculty of Science and Technology, Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau, Indonesia

Email: <sup>1</sup>[12050310337@students.uin-suska.ac.id](mailto:12050310337@students.uin-suska.ac.id), <sup>2</sup>[muhammad.luthfi@uin-suska.ac.id](mailto:muhammad.luthfi@uin-suska.ac.id), <sup>3</sup>[idria@uin-suska.ac.id](mailto:idria@uin-suska.ac.id), <sup>4</sup>[megawati@uin-suska.ac.id](mailto:megawati@uin-suska.ac.id), <sup>5</sup>[tengkukhairil@uin-suska.ac.id](mailto:tengkukhairil@uin-suska.ac.id)

(Article received: March 13, 2024; Revision: April 06, 2024; published: July 29, 2024)

### **Abstract**

*The role of teachers in implementing innovative and creative learning models in the era of industrial revolution 4.0 is an important influence in attracting student's attention to achieve learning goals. Student's lack of interest and motivation to learn is a factor in the difficulty of understanding basic mathematical concepts, especially geometric material. Apart from that, it can be seen from the student's enthusiasm for learning who easily get bored when studying using books alone. The aim of this research is to develop and apply an Android-based augmented reality (AR) application to increase student's interest in learning and deliver more interactive material. This application uses a marker based tracking method which was developed using the Unity program. The results of application testing using a black box showed that all application features were used successfully without errors. The pre-test and post-test of 19 grade 6 students regarding understanding of geometry material before and after using AR obtained an increase from 60.53 to 86.84. The system usability scale (SUS) test was aimed at teachers and students by providing 10 statements to assess user satisfaction with the application which received a score of 77.84 in the acceptable category. Evaluation of application usability using 3 matrices, namely learnability, obtained a result of 94%, user efficiency in completing tasks was 0.19 goal /sec, and the error matrix obtained a value of 0.44.*

**Keywords:** *Android, Augmented Reality, Geometry, Marker Based Tracking, System Usability Scale.*

## **PENGEMBANGAN APLIKASI AUGMENTED REALITY TERHADAP PEMBELAJARAN GEOMETRI DENGAN METODE MARKER BASED TRACKING**

### **Abstrak**

Peran guru menerapkan model pembelajaran yang inovatif dan kreatif di era revolusi industri 4.0 menjadi pengaruh penting untuk menarik perhatian siswa mencapai tujuan pembelajaran. Kurangnya minat dan motivasi belajar siswa menjadi faktor sulitnya memahami konsep-konsep dasar matematika khususnya materi geometri. Selain itu terlihat pada semangat belajar siswa yang mudah bosan ketika belajar menggunakan buku saja. Tujuan dari penelitian ini untuk mengembangkan dan menerapkan aplikasi *augmented reality* (AR) berbasis *android* dalam meningkatkan minat belajar siswa serta penyampaian materi yang lebih interaktif. Aplikasi ini menggunakan metode *marker based tracking* yang dikembangkan menggunakan program Unity. Hasil pengujian aplikasi menggunakan *black box* mendapatkan seluruh fitur berhasil digunakan tanpa kesalahan. Pengujian *pre-test* dan *post-test* dari 19 siswa kelas 6 mengenai pemahaman materi geometri saat sebelum dan sesudah menggunakan AR memperoleh peningkatan dari nilai 60.53 menjadi 86.84. Pengujian *system usability scale* (SUS) ditujukan kepada guru dan siswa dengan memberikan 10 pernyataan untuk menilai kepuasan pengguna terhadap aplikasi yang memperoleh nilai 77.84 dengan kategori *acceptable*. Evaluasi *usability* aplikasi menggunakan 3 matriks yakni *learnability* memperoleh hasil 94%, *Efficiency* pengguna menyelesaikan tugas 0.19 *goal /sec*, dan matriks *error* memperoleh nilai 0.44.

**Kata kunci:** *Android, Augmented Reality, Geometri, Marker Based Tracking, System Usability Scale.*

### **1. PENDAHULUAN**

Dunia pendidikan saat ini terus mengalami kemajuan yang salah satunya didukung oleh

perkembangan teknologi informasi dan komunikasi (TIK) yang terus mengalami pembaruan dan diperkirakan akan menuju pada kemajuan yang positif [1]. Kondisi pendidikan di Indonesia sedang dipengaruhi oleh revolusi industri 4.0 yang membuat sektor pendidikan juga dituntut untuk menciptakan inovasi baru, sehingga penting adanya sumber daya manusia (SDM) yang unggul untuk bisa menerapkan TIK dalam proses pembelajaran [2], [3]. Pemanfaatan teknologi informasi dalam dunia pendidikan dapat mendukung siswa dan guru untuk mewujudkan proses pembelajaran [4]. Kemampuan guru menyampaikan materi kepada siswa menjadi faktor keberhasilan dalam memajukan pendidikan, dengan ini tujuan pendidikan yang diharapkan akan mudah tercapai dengan adanya peran guru untuk menerapkan pembelajaran digital [5].

Menerapkan media pembelajaran digital mampu menghadirkan pengalaman belajar yang menarik untuk meningkatkan minat dan motivasi siswa [6]. Penerapan teknologi digital dalam dunia pendidikan memiliki potensi yang luas untuk membantu siswa mengembangkan suatu pemikiran yang kreatif [7]. Paradigma teknologi industri 4.0 menjadi pendorong utama penciptaan teknologi baru seperti *Augmented Reality* (AR) dalam pemanfaatan komponen grafis dan visual [8]. AR merupakan suatu konsep penggabungan dunia maya dengan dunia nyata yang dapat meningkatkan pemahaman pengguna tentang suatu informasi berdasarkan objek yang dilihat [9], [10]. Pembelajaran berbasis AR menghasilkan interaksi antara manusia dengan teknologi yang sangat menarik minat pengguna [11].

Berdasarkan hasil observasi yang dilakukan oleh [12] dijelaskan bahwa penggunaan media berbasis TIK pada tingkat sekolah dasar untuk pelajaran matematika masih kurang diterapkan. Bahkan media pembelajaran yang disediakan oleh sekolah hanya terbuat dari bahan karton dan plastik. Penelitian yang dilakukan oleh [13] menampilkan hasil analisa terhadap faktor-faktor penyebab sulitnya siswa mempelajari matematika. Kurangnya minat dan motivasi siswa menjadi faktor internal yang mempengaruhi siswa. Temuan penelitian ini menyampaikan bahwa dalam proses pembelajaran guru bisa menggunakan media yang dapat menarik perhatian siswa agar lebih menyukai pelajaran matematika.

Berdasarkan hasil pengamatan oleh [14] menjelaskan bahwa cara penyampaian materi dan suasana pembelajaran kurang menyenangkan menjadi pengaruh dari rendahnya kemampuan siswa pada pelajaran matematika. SD Muhammadiyah 07 Terpadu menerapkan pembelajaran yang mengacu pada kurikulum 2013 (K13). Dalam kurikulum ini terdapat materi geometri yang wajib untuk dimengerti oleh siswa. Hasil observasi dan wawancara menemukan suatu masalah bahwa siswa sering mengalami kesulitan saat ingin memahami konsep geometri. Selain itu terlihat pada minat belajar siswa

yang sering merasa bosan ketika belajar menggunakan buku saja. Maka penelitian ini dilakukan untuk mengatasi kesulitan siswa selama proses belajar untuk memenuhi standar pemahaman siswa pada materi geometri sesuai dengan K13.

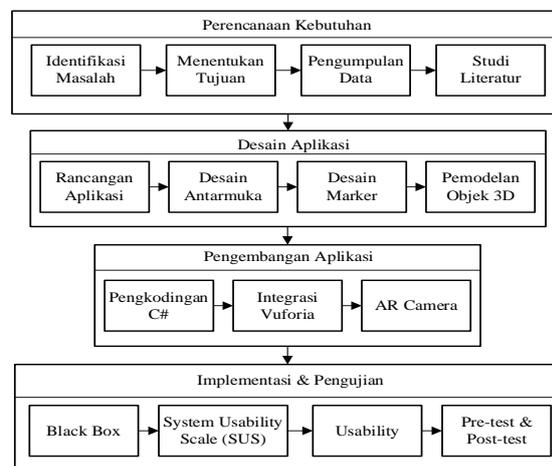
Penelitian yang dilakukan oleh [15] melakukan perbandingan terhadap siswa di Malaysia untuk menilai efektifitas AR terhadap motivasi dan prestasi belajar siswa. Penelitian ini menemukan bahwa yang mempengaruhi motivasi belajar siswa adalah tema pembelajaran yang menyenangkan dan elemen interaktif yang disediakan. Tingginya motivasi belajar menjadi faktor dari meningkatnya prestasi belajar siswa. Penelitian yang dilakukan oleh [16] menjelaskan bahwa penerapan AR sangat efektif untuk mendukung pembelajaran sains bagi siswa SMA di Sri Lanka. Dari 10 guru dan 20 siswa menilai aplikasi ini membantu siswa mempelajari sains serta meningkatkan minat dan antusias untuk memperoleh hasil ujian yang bagus.

Penelitian oleh [17] menjelaskan bahwa penggunaan AR terhadap prestasi akademik siswa di Meksiko memiliki dampak yang positif. Siswa yang menerapkan pembelajaran menggunakan AR mendapatkan nilai lebih tinggi dari siswa yang belajar menggunakan website. Temuan dari penelitian ini mengungkapkan bahwa menggunakan teknologi AR sebagai lingkungan belajar merupakan cara efektif untuk membantu siswa.

Setelah mengetahui keunggulan dari penerapan AR untuk mendukung proses pembelajaran, Maka penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan aplikasi AR yang mampu memberikan dampak positif terhadap peningkatan minat dan motivasi belajar siswa. Sehingga penyampaian materi pembelajaran geometri kepada siswa lebih interaktif.

## 2. METODE PENELITIAN

Dalam penelitian ini mengusulkan aplikasi AR menggunakan metode *marker based tracking* dengan *rapid application development* (RAD) sebagai model pengembangan aplikasi. Alur pengembangan aplikasi secara rinci dapat terlihat pada gambar 1.



Gambar 1. Alur pengembangan aplikasi.

## 2.1. Perencanaan Kebutuhan

Melakukan identifikasi masalah dari hasil pengamatan kegiatan pembelajaran siswa di SD Muhammadiyah 07 Terpadu. Hasil identifikasi masalah ini menjadi dasar untuk menentukan tujuan yang akan dicapai pada akhir penelitian. Beberapa data dikumpulkan dengan melakukan observasi serta wawancara lebih lanjut kepada guru dan siswa. Informasi yang mendukung penelitian ini diperoleh menggunakan buku dan artikel ilmiah yang relevan dengan penelitian.

## 2.2. Desain Aplikasi

Terdapat beberapa tahapan dalam proses desain aplikasi yang dimulai dari perancangan aplikasi menggunakan diagram *use case*. Adapun desain marker dan desain antar muka menggunakan aplikasi Photoshop untuk membuat seluruh tampilan yang digunakan pada aplikasi AR lebih menarik. Pemodelan objek 3D yang dibutuhkan pada materi geometri terdapat 6 objek yang seluruhnya dibuat menggunakan aplikasi Blender.

## 2.3. Pengembangan Aplikasi

Tahap pengembangan aplikasi menggunakan bahasa pemrograman C# dengan dukungan aplikasi Unity yang telah terintegrasi Vuforia sebagai database untuk menyimpan desain marker. Selain itu, Vuforia berfungsi sebagai kamera AR yang sangat diperlukan untuk mengembangkan aplikasi AR di Unity. Dengan adanya kamera AR maka objek 3D dapat muncul di layar *smartphone* pengguna.

## 2.4. Implementasi dan Pengujian

Aplikasi yang telah selesai dikembangkan selanjutnya dilakukan uji fungsional menggunakan *black box testing*. Aplikasi ini diimplementasikan kepada siswa kelas 6 SD Muhammadiyah 07 Terpadu dengan melakukan beberapa pengujian seperti *system usability scale* (SUS), *Usability* serta uji pemahaman siswa dengan *pre-test* dan *post-test*.

## 2.5. Marker Based Tracking



Gambar 2. Cara kerja marker based tracking

AR jenis *marker based* membutuhkan sebuah target marker yang telah ditentukan untuk dapat memunculkan objek 3D [18]. Cara kerja *marker based* AR berdasarkan hasil deteksi gambar target

*marker* yang telah dicetak seperti pada gambar 2 [19]. Gambar yang menjadi penanda harus jelas dan tidak buram agar modul AR dapat lebih mudah untuk melakukan pencocokan dan pengenalan pola gambar yang sesuai dengan konten tertentu [20].

## 2.6. Rapid Application Development (RAD)

Model pengembangan perangkat lunak RAD bertujuan untuk mempersingkat waktu penyelesaian sistem terutama pada tahap desain ke tahap implementasi [21]. Adapun 4 tahapan penting yang perlu dilakukan adalah perencanaan kebutuhan, Desain aplikasi, Pengembangan, dan Implementasi.

## 2.7. Pemodelan Objek 3D

Alat pemodelan objek 3D *open source* yang dapat digunakan untuk membuat objek 3D adalah Blender [22]. Blender bisa membantu pengguna membuat objek 3D yang sempurna dengan melakukan *modelling*, *Texturing*, *Animating* dan *Rendering* [23]. Teknik pemodelan objek 3D yang kompleks dapat dimodelkan dengan tools yang tersedia pada aplikasi Blender [24].

## 2.8. Vuforia

Vuforia menjadi plug-in AR yang dapat mendukung *developer* melakukan pengembangan aplikasi terutama pada *platform* unity [25]. Vuforia juga digunakan sebagai database untuk menyimpan gambar yang akan dijadikan target *marker*. Vuforia saat ini memiliki teknologi *computer vision* untuk mendeteksi dan mengenali suatu objek penanda [26].

## 2.9. System Usability Scale (SUS)

Pengujian *system usability scale* (SUS) bisa digunakan sebagai alat untuk melakukan pengujian perangkat lunak seperti *website*, sistem informasi, aplikasi *mobile* dan lainnya [27]. SUS merupakan salah satu cara untuk mengumpulkan data pengujian kegunaan aplikasi dengan memberikan penilaian berupa skor dalam bentuk skala likert [28]. Skala penilaian SUS merupakan alat ukur yang menunjukkan tingkat validitas dan keandalan yang tinggi saat evaluasi [29].

## 2.10. Usability

*Usability* biasanya diukur dengan mengajak beberapa pengguna yang akan diuji untuk melakukan serangkaian tugas yang telah ditentukan ataupun mengerjakan tugas apapun yang ada di aplikasi [30]. Pengujian *usability* menggunakan 3 matriks yaitu *learnability* sebagai tolak ukur tingkat kemudahan aplikasi untuk dipelajari oleh pengguna, untuk menghitungnya menggunakan rumus (1) [30].

$$\frac{\text{Success Task} + (\text{Partial Success} \times 0.5)}{\text{Total Task}} \times 100\% \quad (1)$$

Efficiency menilai kecepatan aplikasi menyelesaikan tugas tertentu dengan menggunakan rumus (2).

$$Time - based\ efficiency = \frac{\sum_{j=1}^R \sum_{i=1}^N \frac{nij}{t_{ij}}}{NR} \quad (2)$$

Error rate untuk mengetahui kesalahan yang mungkin terjadi pada aplikasi dengan menggunakan rumus (3).

$$Error\ Rate = \frac{Total\ Defects}{Total\ Opportunities} \quad (3)$$

**2.11. Black Box**

Pengujian *black box* mengetahui beberapa kesalahan seperti fungsional yang kurang tepat, kesalahan pada basis data, akses data, antar muka, *performance*, serta kesalahan input pada nilai awal [31]. Kelebihan pengujian *black box* yakni tidak membutuhkan pemahaman lebih dalam mengenai bahasa pemrograman dari suatu aplikasi, sehingga dapat lebih mudah untuk menemukan celah kesalahan dari segi fungsional aplikasi [32]..

**2.12. Pre-test dan Post-test**

*Pre-test* bertujuan sebagai instrumen pengujian untuk memeriksa pemahaman pengguna dalam hal kejelasan, kemungkinan masalah dan waktu yang dibutuhkan untuk menyelesaikan [33]. Sedangkan *post-test* suatu pengujian yang diberikan untuk melihat apakah mengalami peningkatan positif atau negatif dari hasil *pre-test* [34]. Pengujian dilakukan kepada siswa yang akan mempelajari materi geometri yakni kelas 6 SD yang berjumlah 19 siswa untuk mengetahui pemahaman siswa saat sebelum dan sesudah menggunakan AR.

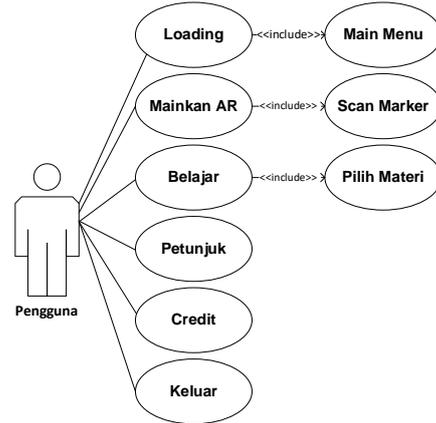
**3. HASIL DAN PEMBAHASAN**

**3.1. Desain Aplikasi**

Tahapan desain aplikasi ini merupakan rancangan desain dari menu yang akan tampil ketika pengguna membuka aplikasi dan menggunakan setiap fitur. Elemen-elemen interaktif dengan warna dan tulisan yang menarik menjadi hal yang perlu dipersiapkan agar dapat menambah perhatian siswa.

**3.1.1. Rancangan Aplikasi**

Rancangan aplikasi ditampilkan untuk memberikan gambaran bagaimana hubungan antara pengguna, serta menjelaskan fitur pada aplikasi. Pengguna dapat menggunakan 6 fitur yang tersedia dalam aplikasi. *Use case diagram* pada gambar 3 menampilkan sejumlah fitur pada aplikasi.



Gambar 3. Use case diagram

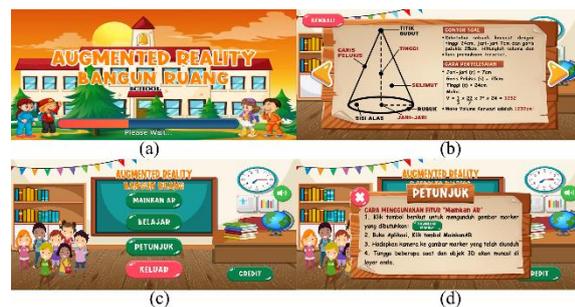
Penjelasan dari setiap *use case* terlihat pada tabel 1.

Tabel 1. Deskripsi Use Case Diagram

No.	Use Case	Deskripsi
1.	Loading	Saat pengguna pertama kali membuka aplikasi dan sebelum masuk ke main menu.
2.	Mainkan AR	Pengguna melakukan deteksi target marker agar objek 3D bisa dimunculkan.
3.	Belajar	Pengguna melihat materi geometri yang tersedia.
4.	Pilih Materi	Pengguna memilih materi yang ingin dipelajari.
5.	Petunjuk	Pengguna ingin mengetahui cara menggunakan AR.
6.	Credit	Pengguna melihat profil developer aplikasi
7.	Keluar	Pengguna akan keluar dari aplikasi.

**3.1.2. Desain Antarmuka**

Tampilan antarmuka yang akan dilihat oleh pengguna saat berada di aplikasi seperti pada gambar 4.

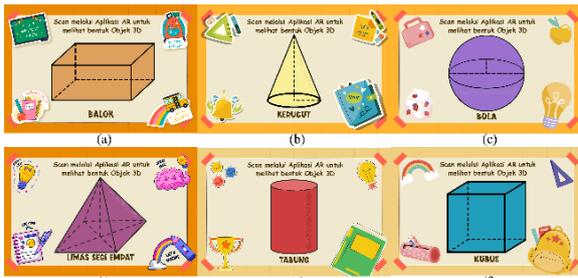


Gambar 4. (a) loading screen, (b) materi kerucut, (c) main menu, (d) petunjuk aplikasi

Gambar 4 (a) merupakan tampilan loading screen, 4 (b) materi kerucut, 4 (c) menu utama, 4 (d) petunjuk aplikasi.

**3.1.3. Desain Marker**

Terdapat 6 gambar marker yang disediakan untuk dipindai pada gambar 5.

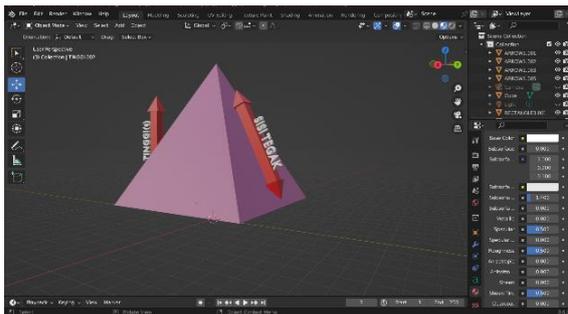


Gambar 5. (a) Marker balok, (b) Marker kerucut, (c) Marker bola, (d) Marker limas segi empat, (e) Marker tabung

Seperti yang terlihat pada gambar 5 bahwa 6 marker tersebut adalah marker balok, Marker kerucut, Marker bola, Marker limas segi empat, dan Marker tabung.

### 3.1.4. Pemodelan Objek 3D

Pemodelan objek 3D menggunakan aplikasi Blender dapat dilihat pada gambar 6. Secara keseluruhan ada 6 Objek 3D yang dibuat yakni Kubus, Kerucut, Balok, Limas segi empat, Bola, dan Tabung.



Gambar 6. Pemodelan Objek 3D

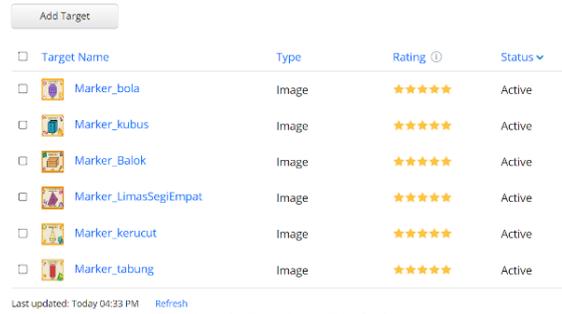
## 3.2. Pengembangan Aplikasi

Seluruh komponen yang dibutuhkan untuk pengembangan aplikasi seperti *script C#*, Objek 3D, audio dan desain antarmuka dikumpulkan dalam Unity seperti pada gambar 7.



Gambar 7. Pengembangan Aplikasi

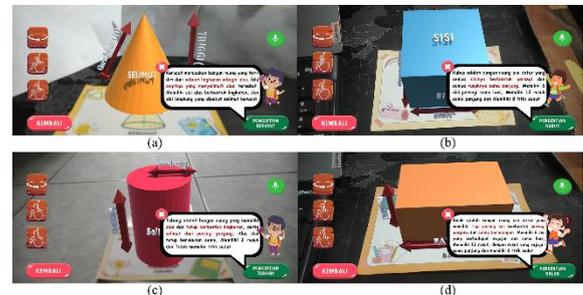
Desain marker yang digunakan dalam aplikasi tersimpan dalam *database* vuforia dan telah terhubung dengan Unity seperti pada gambar 8.



Gambar 8. Database Vuforia.

## 3.3. Implementasi dan Pengujian

Spesifikasi minimal *smartphone* pengguna agar dapat menjalankan aplikasi dengan lancar yakni Android 7.0, RAM 2GB, Kamera 12 MP serta perangkat input dan output pendukung.



Gambar 9. (a) Scan kerucut, (b) Scan kubus, (c) Scan tabung, (d) Scan balok

Pada gambar 9 (a) *Scan* kerucut, (b) *Scan* kubus, (c) *Scan* tabung, (d) *Scan* balok adalah hasil implementasi fitur AR yang ada di aplikasi. Hasil *scan* menampilkan objek 3D geometri yang dapat diperbesar, diperkecil, dan diputar. Terdapat penjelasan materi secara singkat dalam bentuk audio dan teks.

### 3.3.1. Black Box

Pengujian ini mencakup fungsionalitas *input* dan *output*, Agar hasil aplikasi sesuai dengan rancangan awal yang diinginkan.

Tabel 2. Pengujian black box

No.	Pengujian	Hasil yang diharapkan	Kesimpulan
1.	Start	Muncul loading bar dan berpindah ke main menu	Berhasil
	Loading	Ketika pengguna scan marker, maka tampil objek 3D, audio dan button sesuai dengan gambar marker.	Berhasil
2.	Maikan AR	Menampilkan 6 pilihan materi yaitu kubus, tabung, balok, bola, kerucut, dan limas segi empat.	Berhasil
	Menu Belajar	Petunjuk penggunaan fitur mainkan AR serta muncul tombol download marker	Berhasil
3.	Menu Petunjuk	Menampilkan profil developer aplikasi	Berhasil
4.	Menu Credit		

6.	Menu Keluar	Menampilkan popup untuk memastikan pengguna ingin keluar dari aplikasi	Berhasil
----	-------------	--	----------

### 3.3.2. System Usability Scale (SUS)

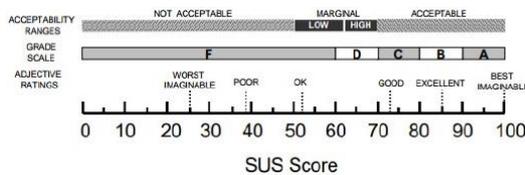
Pengujian SUS dilakukan dengan memberikan 10 pernyataan kepada 21 siswa dan 1 guru yang mengajar matematika di kelas 6. Ditandai dengan responden (R) dan banyak pernyataan (Q) pada tabel 3. Indikator penilaian SUS menggunakan skala likert model 4 skala yakni setuju (S), Sangat setuju (SS), Tidak setuju (TS), dan sangat tidak setuju (STS).

Tabel 3. Hasil perhitungan skor SUS

R	Q1	Q2	Q3	Q4	Q5	Q6	...	Total
R1	4	1	4	1	4	1	...	87.5
R2	4	1	4	2	4	1	...	80
R3	4	1	4	1	4	1	...	80
R4	4	2	3	1	3	1	...	80
R5	4	1	3	1	4	1	...	80
...	...	...	...	...	...	...	...	...
R22	3	1	4	2	3	1	...	75
<b>Jumlah Skor</b>								1713

Pernyataan ganjil dan genap memiliki perhitungan yang berbeda, soal ganjil bobot penilaian dikurangi 1. Soal genap, 5 dikurangi bobot penilaian. Hasil penilaian setiap pernyataan dikalikan 2,5. Maka nilai akhir didapatkan setelah total skor seluruh responden dijumlahkan dan dibagi banyak responden.

$$\frac{\sum x}{n} = \frac{1713}{22} = 77.84$$



Gambar 10. Skala penilaian SUS

Dari hasil akhir yang didapatkan yaitu 77.84. Maka rentang penilaian *acceptability* berdasarkan gambar 10 dapat dikategorikan “Acceptable”, untuk skala kelas nilai ada di kategori C serta penilaian *adjective* kategori *excellent*.

### 3.3.3. Usability

#### a. Hasil Analisa Learnability

Adapun 3 penilaian *learnability* adalah *Success* (S), *Partially Success* (PS), *Failed* (F).

Tabel 4. Analisa *learnability*

R	Fitur				
	Mainkan AR	Belajar	Petunjuk	Credit	Keluar
R1	S	S	S	S	S
R2	PS	S	S	S	S
R3	S	S	S	S	PS
R4	S	S	S	S	S
...	...	...	...	...	...
R7	S	S	S	S	PS

Berdasarkan hasil pengujian pada tabel 4 maka dilakukan perhitungan menggunakan rumus berikut.

$$\frac{31 + (4 \times 0.5)}{35} \times 100\% = 94\%$$

Dari hasil yang diperoleh 94%, maka analisa *learnability* pengguna telah menyelesaikan seluruh tugas yang diberikan dengan baik.

#### b. Hasil Analisa Efficiency

Terdapat 6 tugas (T) yang diujikan secara acak kepada guru dan siswa.

Tabel 5. Analisa *efficiency*

R	Waktu (detik)						Total
	T1	T2	T3	T4	T5	T6	
R1	6	4	4	5	5	4	28
R2	6	5	4	5	4	5	29
R3	7	7	8	4	2	5	33
R4	6	5	7	3	5	5	31
...	...	...	...	...	...	...	...
R7	6	4	4	5	4	4	27

Dari data lama waktu pengguna menyelesaikan satu tugas pada tabel 5 kemudian dihitung menggunakan rumus berikut.

$$\frac{\frac{1}{28} + \frac{1}{29} + \frac{1}{33} + \frac{1}{31} + \frac{1}{33} + \frac{1}{36} + \frac{1}{27}}{42} = 0.19 \text{ goal/sec}$$

Berdasarkan hasil perhitungan *efficiency* memperoleh nilai 0.19 *goal/sec*, artinya pengguna dapat menyelesaikan 1/5 tugasnya dalam satu detik.

#### c. Hasil Analisa Error

Perhitungan dilakukan saat pengguna diberikan tugas melakukan scan 6 gambar marker. Skor penilaian yaitu 0 = Tidak ada kesalahan dan 1 = Banyak kesalahan.

Tabel 6. Analisa *error*

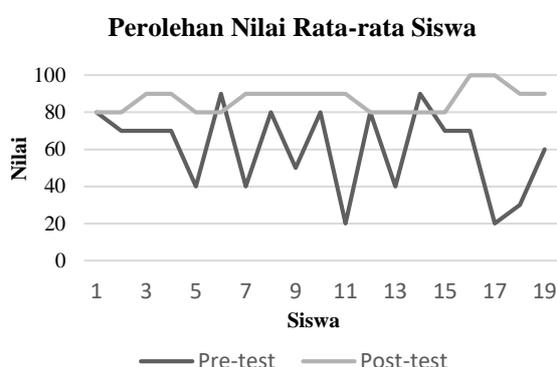
R	Total Defects				Error Rate
	Kubus	Balok	Tabung	Kerucut	
R1	0	0	0	0	0.00
R2	0	0	0	0	0.00
R3	0	0	0	0	0.00
R4	0	0	0	0	0.33
R5	0	0	0	0	0.00
R6	0	0	0	0	0.33
R7	1	0	0	0	0.67
Global Error Rate					0.44

Berdasarkan perhitungan *error rate* pada tabel 6, Nilai rata-rata kesalahan pengguna secara keseluruhan memperoleh nilai 0.44.

### 3.3.4. Pre-test dan Post-test

Pengujian ini melihat perubahan pemahaman siswa kelas 6 tentang materi geometri saat sebelum dan sesudah menggunakan aplikasi AR. Sebanyak 19 siswa kelas 6 diberikan 10 pertanyaan dengan waktu pengerjaan 15 menit. Pengenalan aplikasi AR dilakukan setelah siswa selesai mengerjakan soal *pre-test*. Ketika siswa telah mempelajari materi di aplikasi

AR, kemudian siswa diberikan waktu 15 menit untuk mengisi 10 soal *post-test*.



Gambar 11. Grafik hasil pre-test dan post-test

Terlihat pada gambar 11 bahwa rata-rata nilai siswa meningkat setelah menggunakan aplikasi AR. Hasil *pre-test* mendapatkan rata-rata nilai siswa 60.53, sedangkan dari hasil *post-test* meningkat menjadi 86.84 dengan nilai terendah yang didapatkan adalah 80.

#### 4. DISKUSI

Pengembangan aplikasi AR telah dilakukan sesuai dengan tujuan yang akan dicapai pada awal penelitian. Implementasi aplikasi AR untuk mempelajari materi geometri dilakukan kepada siswa kelas 6. Pemahaman siswa terhadap materi mengalami peningkatan yang positif dari sebelum menggunakan aplikasi AR. Berdasarkan hasil *pre-test* siswa mendapatkan hasil yang cenderung rendah dengan rata-rata nilai 60.53. Ketika siswa diberikan kesempatan untuk belajar menggunakan aplikasi AR, siswa terlihat antusias dan semangat dalam belajar. Saat siswa diberikan 10 pertanyaan *post-test* hasilnya lebih meningkat dengan rata-rata nilai 86.84. Dari hasil *pre-test* dan *post-test* membuktikan bahwa penerapan teknologi AR untuk meningkatkan pemahaman siswa disarankan untuk mendukung proses pembelajaran.

Penelitian sebelumnya dilakukan oleh [35] merancang aplikasi AR untuk pembelajaran satwa, pada penelitian tersebut belum menunjukkan hasil yang jelas terhadap pemahaman anak. Dikarenakan tidak dilakukannya pengujian untuk membuktikan bahwa anak-anak dapat mengenali satwa dengan baik setelah menggunakan aplikasi AR. Penelitian yang dilakukan oleh [36] mengembangkan media pembelajaran sistem pencernaan manusia untuk siswa sekolah dasar tidak melakukan pengujian terhadap pemahaman siswa. Sehingga belum terlihat dengan jelas apakah pemahaman siswa menunjukkan peningkatan yang signifikan.

Meningkatnya pemahaman siswa tentunya berkaitan dengan performa aplikasi yang baik serta elemen interaktif menarik yang dapat dirasakan oleh pengguna. Hal ini dibuktikan dengan pengujian *black*

*box* yang menyatakan seluruh fitur berhasil digunakan. Selain itu, dari hasil pengujian SUS yang dibagikan kepada guru dan siswa bahwa aplikasi ini masuk dalam kategori *acceptable*. Pengujian usability matriks *learnability* memperoleh hasil 94% dari tugas yang diberikan dapat diselesaikan oleh siswa. Dari hasil perhitungan matriks *efficiency* bahwa pengguna dapat menyelesaikan 1/5 tugasnya dalam waktu satu detik. Kesalahan yang terjadi saat pengguna menyelesaikan tugas yang diberikan hanya 0.44.

Penelitian yang sebelumnya dilakukan oleh [37] menggunakan AR sebagai pembelajaran tata surya siswa sekolah dasar belum menampilkan pengujian yang akurat terhadap kepuasan pengguna. Untuk memastikan bahwa aplikasi yang dirancang telah berjalan sesuai dengan kegunaan aplikasi. Penelitian oleh [38] melakukan pengembangan aplikasi AR untuk pembelajaran bahasa indonesia siswa sekolah dasar. Pengujian yang dilakukan hanya pada fungsional aplikasi menggunakan *black box*. Sehingga belum terlihat jelas apakah siswa merasa terbantu setelah menggunakan aplikasi tersebut. Pengujian pemahaman siswa setelah menggunakan AR sebagai media pembelajaran belum dilakukan sehingga tidak dapat dipastikan pemahaman siswa mengalami peningkatan yang positif.

Kelengkapan fitur yang disediakan pada aplikasi menjadi hal yang perlu diperhatikan untuk membantu proses belajar siswa. Fitur belajar yang disediakan pada aplikasi ini memberikan kemudahan bagi siswa untuk memilih materi yang ingin dipelajari dan telah dilengkapi dengan contoh soal, beserta pembahasannya. Ketika siswa merasa bosan saat belajar menggunakan buku maka dapat belajar melalui aplikasi AR saat di sekolah ataupun di rumah. Pada fitur mainkan AR siswa bisa mempelajari materi geometri berdasarkan marker yang dipindai. Materi yang dimunculkan telah dilengkapi dengan objek 3D dan dapat dilihat dengan detail dari berbagai sisi.

#### 5. KESIMPULAN

Penerapan AR sebagai media pembelajaran merupakan salah satu cara untuk dapat meningkatkan prestasi akademik siswa. Terdapat perubahan positif dari minat belajar siswa ketika menggunakan aplikasi AR pada pelajaran matematika. Dari hasil pengujian *pre-test* kepada 19 siswa memperoleh rata-rata nilai 60.53 dan *post-test* dengan nilai 86.84 menunjukkan bahwa aplikasi AR menjadi sarana pembelajaran yang dapat meningkatkan minat dan prestasi belajar siswa untuk memahami konsep geometri. Setelah dilakukan pengujian SUS kepada guru dan siswa terlihat bahwa aplikasi ini masuk dalam kategori *acceptable* dengan SUS score 77.84. Hasil Pengujian *black box* menyatakan secara keseluruhan fitur pada aplikasi ini dapat digunakan. Pengujian usability menggunakan 3 matriks menunjukkan bahwa aplikasi ini efisien dan mudah untuk dipelajari dengan tingkat kesalahan yang sangat rendah.

Tantangan dari penerapan teknologi AR dengan skala yang lebih besar adalah kurangnya pelatihan kepada guru dan siswa untuk mulai mengenalkan teknologi AR dalam pembelajaran. Keterbatasan dalam penelitian ini pada penerapan aplikasi AR yang memiliki satu pelajaran dan evaluasi yang dilakukan pada satu sekolah. Maka penelitian selanjutnya disarankan untuk menambahkan materi pembelajaran yang diterapkan pada beberapa sekolah. Sehingga hasil evaluasi akan menampilkan perbedaan yang signifikan terhadap pemahaman siswa pada pelajaran yang berbeda.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] A.-J. Moreno-Guerrero, S. Alonso García, M. Ramos Navas-Parejo, M. N. Campos-Soto, and G. Gómez García, "Augmented Reality as a Resource for Improving Learning in the Physical Education Classroom," *IJERPH*, vol. 17, no. 10, p. 3637, May 2020, doi: 10.3390/ijerph17103637.
- [2] L. Ellitan, "Competing in the Era of Industrial Revolution 4.0 and Society 5.0," *JMP*, vol. 10, no. 1, p. 1, Dec. 2020, doi: 10.30588/jmp.v10i1.657.
- [3] R. M. M. Sari and N. Priatna, "Model-Model Pembelajaran di Era Revolusi Industri 4.0 (E-Learning, M-Learning, AR-Learning dan VR Learning)," *Biomatika: Jurnal ilmiah fakultas keguruan dan ilmu pendidikan*, vol. 6 No.1, pp. 107–115, 2020, doi: 10.35569.
- [4] T. Yulianti and A. Sulistiyawati, "The Blended Learning for Student's Character Building," in *Proceedings of the International Conference on Progressive Education (ICOPE 2019)*, Lampung, Indonesia: Atlantis Press, 2020. doi: 10.2991/assehr.k.200323.089.
- [5] M. Prasrihamni, A. Marini, M. Nafiah, and N. Surmilasari, "Inovasi Pendidikan Jenjang Sekolah Dasar Dalam Pelaksanaan Pembelajaran di Era Digital," *Jurnal Riset Pendidikan Dasar (JRPD)*, vol. 5, no. 1, pp. 82–88, 2022.
- [6] D. Pratiwi, A. N. Larasati, and I. L. Berutu, "Pentingnya Inovasi Media Pembelajaran Berbasis Digital Di Abad-21," *BEST Journal (Biology Education, Sains and Technology)*, vol. 5, no. 2, pp. 211–216, 2022.
- [7] K. Das, "The Role and Impact of ICT in Improving the Quality of Education: An Overview," *International Journal of Innovative Studies in Sociology and Humanities (IJSSH)*, vol. 4, no. 6, 2019.
- [8] M. L. Hamzah, A. Ambiyar, F. Rizal, W. Simatupang, D. Irfan, and R. Refdinal, "Development of Augmented Reality Application for Learning Computer Network Device," *Int. J. Interact. Mob. Technol.*, vol. 15, no. 12, p. 47, Jun. 2021, doi: 10.3991/ijim.v15i12.21993.
- [9] R. Kmurawak and D. Setyaningsih, "Use Of Augmented Reality As A Learning Media In Early Childhood Education Solideo Perumnas I Jayapura," *ECRJ*, vol. 3, no. 1, pp. 1–5, Jul. 2020, doi: 10.23917/ecrj.v3i1.10544.
- [10] A. F. Dewi, M. Iqbal, and Universitas Islam Kebangsaan Indonesia, "Perancangan Augmented Reality (AR) Sebagai Media Promosi Objek Wisata Berbasis Android," *jit*, vol. 5, no. 1, pp. 179–186, Jan. 2022, doi: 10.29408/jit.v5i1.4760.
- [11] C. Macariu, A. Iftene, and D. Gîfu, "Learn Chemistry with Augmented Reality," *Procedia Computer Science*, vol. 176, pp. 2133–2142, 2020, doi: 10.1016/j.procs.2020.09.250.
- [12] N. P. Dinayusadewi and G. N. S. Agustika, "Development Of Augmented Reality Application As A Mathematics Learning Media In Elementary School Geometry Materials," *JET*, vol. 4, no. 2, p. 204, Jul. 2020, doi: 10.23887/jet.v4i2.25372.
- [13] N. D. Restiani, A. F. Rahmawati, N. Y. Amalia, K. C. Suryandari, and R. Hidayah, "Analysis of Mathematical Difficulties Facing Class IV Students in Dealing with Numeration Ability in the Age of Independent Curriculum," *SHES*, vol. 6, no. 1, p. 120, Feb. 2023, doi: 10.20961/shes.v6i1.71066.
- [14] D. Aprilianto, "Analysis of The Causes of The Low Basic Mathematics Ability of Students In Mathematics Current Class V SD Negeri 01 Bukur," *Social, Humanities, and Education Studies (SHEs): Conference Series*, vol. 4, no. 5, pp. 1256–1261, 2021.
- [15] A. A. Ziden, A. A. A. Ziden, and A. E. Ifedayo, "Effectiveness of Augmented Reality (AR) on Students' Achievement and Motivation in Learning Science," *EURASIA J Math Sci Tech Ed*, vol. 18, no. 4, p. em2097, Mar. 2022, doi: 10.29333/ejmste/11923.
- [16] W. De Silva, P. Naranpanawa, U. Hettihewa, P. Liyanage, U. Samarakoon, and N. Amarasena, "Science Zone: An Augmented Reality based Mobile Application for Science," in *2020 2nd International Conference on Advancements in Computing (ICAC)*, Malabe, Sri Lanka: IEEE, Dec. 2020, pp. 222–227. doi: 10.1109/ICAC51239.2020.9357153.
- [17] M. B. Ibáñez, A. Uriarte Portillo, R. Zatarain Cabada, and M. L. Barrón, "Impact of

- augmented reality technology on academic achievement and motivation of students from public and private Mexican schools. A case study in a middle-school geometry course,” *Computers & Education*, vol. 145, p. 103734, Feb. 2020, doi: 10.1016/j.compedu.2019.103734.
- [18] A. Y. C. Nee and S. K. Ong, *Springer Handbook of Augmented Reality*. in Springer Handbooks. Springer International Publishing, 2023. [Online]. Available: <https://books.google.co.id/books?id=hdakEAAAQBAJ>
- [19] L. Hilda and R. Lubis, *APMOL: Media Teknologi Geometri Molekul Berbasis Augmented Reality Dan Jmol*. Samudra Biru, 2021. [Online]. Available: <https://books.google.co.id/books?id=Td2UEAAAQBAJ>
- [20] O. P. Jena, *Augmented Intelligence: Deep Learning, Machine Learning, Cognitive Computing, Educational Data Mining*. in Advances in Computing Communications and Informatics. Bentham Science Publishers, 2022. [Online]. Available: <https://books.google.co.id/books?id=9u6CEAAAQBAJ>
- [21] K. E. Kendall and J. E. Kendall, *Systems analysis and design*, 8th ed. Upper Saddle River, N.J: Pearson Prentice Hall, 2010.
- [22] M. M. Aristov, J. W. Moore, and J. F. Berry, “Library of 3D Visual Teaching Tools for the Chemistry Classroom Accessible via Sketchfab and Viewable in Augmented Reality,” *J. Chem. Educ.*, vol. 98, no. 9, pp. 3032–3037, Sep. 2021, doi: 10.1021/acs.jchemed.1c00460.
- [23] A. Lumbangaol, H. Dafitri, and Rismayanti, “Pembuatan Media Pembelajaran Teknik Fotografi untuk siswa SMK Desain Komunikasi Visual Menggunakan Blender,” *Jurnal Edukasi Nonformal*, vol. 4, pp. 589–611, 2023.
- [24] N. Arulanand, A. R. Babu, and P. K. Rajesh, “Enriched Learning Experience using Augmented Reality Framework in Engineering Education,” *Procedia Computer Science*, vol. 172, pp. 937–942, 2020, doi: 10.1016/j.procs.2020.05.135.
- [25] H. Köse and N. Güner-Yildiz, “Augmented reality (AR) as a learning material in special needs education,” *Educ Inf Technol*, vol. 26, no. 2, pp. 1921–1936, Mar. 2021, doi: 10.1007/s10639-020-10326-w.
- [26] A. I. Rahmat, D. Andreswari, and Y. Setiawan, “Perancangan Aplikasi Augmented Reality Buku Koleksi Benda Bersejarah Sebagai Media Informasi Interaktif dan Media Promosi (Studi Kasus : Museum Negeri Bengkulu),” *ELECTRICIAN – Jurnal Rekayasa dan Teknologi Elektro*, vol. 16, no. 1, Jan. 2022, doi: <https://doi.org/10.23960/elc.v16n1.2229>.
- [27] U. Ependi, T. B. Kurniawan, and F. Panjaitan, “System Usability Scale VS Heuristic Evaluation: A Review,” *Simet*, vol. 10, no. 1, pp. 65–74, Apr. 2019, doi: 10.24176/simet.v10i1.2725.
- [28] J. Brooke, “SUS: A Retrospective,” *Journal of Usability Studies*, vol. 8, no. 2, pp. 29–40, Feb. 2013.
- [29] P. Vlachogianni and N. Tselios, “Perceived usability evaluation of educational technology using the System Usability Scale (SUS): A systematic review,” *Journal of Research on Technology in Education*, vol. 54, no. 3, pp. 392–409, May 2022, doi: 10.1080/15391523.2020.1867938.
- [30] N. Jakob, *Usability Engineering*. Academic Press, 1993.
- [31] E. Novalia and A. Voutama, “Black Box Testing dengan Teknik Equivalence Partitions Pada Aplikasi Android M-Magazine Mading Sekolah,” *Syntax J. Inf.*, vol. 11, no. 01, pp. 23–35, Jun. 2022, doi: 10.35706/syji.v11i01.6413.
- [32] E. H. Kusuma Dewi, I. S. Pratama, A. S. Putera, and C. Carudin, “Black Box Testing pada Aplikasi Pencatatan Peminjaman Buku Menggunakan Boundary Value Analysis,” *STRING*, vol. 6, no. 3, p. 315, Apr. 2022, doi: 10.30998/string.v6i3.11958.
- [33] E. R. Almeida *et al.*, “Validation of the Brazilian Oral Health Literacy-Adults Questionnaire,” *HLRP: Health Literacy Research and Practice*, vol. 6, no. 3, Jul. 2022, doi: 10.3928/24748307-20220822-01.
- [34] P. Ajisoko, “The Use of Duolingo Apps to Improve English Vocabulary Learning,” *Int. J. Emerg. Technol. Learn.*, vol. 15, no. 07, p. 149, Apr. 2020, doi: 10.3991/ijet.v15i07.13229.
- [35] K. Fathoni, Y. Setiowati, and R. Muhammad, “Rancang Bangun Aplikasi Modul Pembelajaran Satwa Untuk Anak Berbasis Mobile Augmented Reality,” *Jurnal Media Informatika Budidarma*, vol. 4, no. 1, p. 32, Jan. 2020, doi: 10.30865/mib.v4i1.1797.
- [36] W. B. Putra and I. G. A. A. Wulandari, “Pengembangan Media Pembelajaran Sistem Pencernaan Manusia Berorientasi Teori Belajar Ausubel Kelas V Sekolah Dasar,” *Jurnal Mimbar Ilmu*, vol. 26, no. 1, p. 174, Mar. 2021, doi: 10.23887/mi.v26i1.31841.
- [37] I. N. Q. Aini, A. Triayudi, and I. D. Sholihati, “Aplikasi Pembelajaran Interaktif

Augmented Reality Tata Surya Sekolah Dasar Menggunakan Metode Marker Based Tracking,” *Jurnal Media Informatika Budidarma*, vol. 4, no. 1, pp. 178–184, 2020.

- [38] S. Somadayo, M. Jamil, and K. H. Karim, “Pengembangan Media Pembelajaran Bahasa Indonesia Berbasis Teknologi Augmented Reality,” *Journal of Education Research*, vol. 5, no. 1, pp. 562–569, 2024.