Pengembangan Aplikasi Pembelajaran Huruf dan Angka Berbasis Android Menggunakan Teknologi Augmented Reality dengan Model Successive Approximation Model (SAM) untuk Anak Usia Dini

SKRIPSI

DISUSUN OLEH

AJI FIRMANSYAH

NPM. 2209020277

PROGRAM STUDI TEKNOLOGI INFORMASI

FAKULTAS ILMU KOMPUTER DAN TEKNOLOGI INFORMASI

UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA

MEDAN

2026

Pengembangan Aplikasi Pembelajaran Huruf dan Angka Berbasis Android Menggunakan Teknologi Augmented Reality dengan Model Successive Approximation Model (SAM) untuk Anak Usia Dini

SKRIPSI

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Komputer (S.Kom) dalam Program Studi Tenologi Infromasi. pada Fakultas Ilmu Komputer dan Teknologi Informasi, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara

AJI FIRMANSYAH
NPM. 2209020277

PROGRAM STUDI TEKNOLOGI INFROMASI
FAKULTAS ILMU KOMPUTER DAN TEKNOLOGI INFORMASI
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA
MEDAN
2026

LEMBAR PENGESAHAN

Judul Skripsi	:	PENGEMBANGAN APLIKASI PEMBELAJARAN HURUF DAN ANGKA BERBASIS ANDROID MENGGUNAKAN TEKNOLOGI AUGMENTED REALITY DENGAN MODEL SUCCESSIVE APPROXIMATION MODEL (SAM) UNTUK ANAK USIA DINI
Nama Mahasiswa	:	AJI FIRMANSYAH
NPM	:	2209020277
Program Studi	:	TEKNOLOGI INFORMASI

Menyetujui
Komisi Pembimbing

(Farid Akbar, S.Kom., M.Kom.)
NIDN. 0104049401

Ketua Program Studi	Dekan
(Fatma Sari Hutagalung, S.Kom, M.Kom)	**(Dr. Al-Khowarizmi, S.Kom., M.Kom.)**
NIDN. 0117019301	**NIDN. 0127099201**

PERNYATAAN ORISINALITAS

PENGEMBANGAN APLIKASI PEMBELAJARAN HURUF DAN ANGKA BERBASIS ANDROID MENGGUNAKAN TEKNOLOGI AUGMENTED REALITY DENGAN MODEL SUCCESSIVE APPROXIMATION MODEL (SAM) UNTUK ANAK USIA DINI

SKRIPSI

Saya menyatakan bahwa karya tulis ini adalah hasil karya sendiri, kecuali beberapa kutipan dan ringkasan yang masing-masing disebutkan sumbernya.

Medan, 01 April 2026

Yang membuat pernyataan



AJI FIRMANSYAH

NPM. 2209020277

PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

Sebagai sivitas akademika Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara, saya bertanda tangan dibawah ini:

Nama	: AJI FIRMANSYAH
NPM	: 2209020277
Program Studi	: Teknologi Informasi
Karya Ilmiah	: Skripsi

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara Hak Bedas Royalti Non-Eksekutif *(Non-Exclusive Royalty free Right)* atas penelitian skripsi saya yang berjudul:

PENGEMBANGAN APLIKASI PEMBELAJARAN HURUF DAN ANGKA BERBASIS ANDROID MENGGUNAKAN TEKNOLOGI AUGMENTED REALITY DENGAN MODEL SUCCESSIVE APPROXIMATION MODEL (SAM) UNTUK ANAK USIA DINI

Beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Non-Eksekutif ini, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara berhak menyimpan, mengalih media, memformat, mengelola dalam bentuk database, merawat dan mempublikasikan Skripsi saya ini tanpa meminta izin dari saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis dan sebagai pemegang dan atau sebagai pemilik hak cipta.

Demikian pernyataan ini dibuat dengan sebenarnya.

Medan, 01 April 2026

Yang membuat pernyataan



Aji Firmansyah

NPM. 2209020277

RIWAYAT HIDUP

DATA PRIBADI

Nama Lengkap	: AJI FIRMANSYAH
Tempat dan Tanggal Lahir	: Tebing Tinggi 18 Maret 2005
Alamat Rumah	: Jl. Jintan Manis LK.II
Telepon/Faks/HP	081375427137
E-mail	: aji03624@gmail.com
Instansi Tempat Kerja	: -
Alamat Kantor	: -

DATA PENDIDIKAN

SD : SDN 164612 KOTA TEBING TINGGI TAMAT: 2016

SMP : SMPN 9 KOTA TEBING TINGGI TAMAT: 2019

SMA : SMAN 3 KOTA TEBING TINGGI TAMAT: 2022

KATA PENGANTAR



Assalamu'alaikum warahmatullahi wabarakatuh, Alhamdulillah puji syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah Subhanahu wa Ta'ala, karena atas limpahan rahmat, taufik, dan hidayah-Nya, penulis dapat menyelesaikan penyusunan skripsi ini dengan baik. Tanpa kehendak dan pertolongan-Nya, tentu penulis tidak akan mampu melalui seluruh proses penyusunan tugas akhir ini hingga selesai. Skripsi ini disusun sebagai salah satu syarat untuk menyelesaikan studi pada Program Studi Teknologi Informasi, Fakultas Ilmu Komputer dan Teknologi Informasi, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara, dengan judul "Pengembangan Aplikasi Pembelajaran Huruf dan Angka Berbasis Android Menggunakan Teknologi Augmented Reality dengan Model Successive Approximation Model (SAM) untuk Anak Usia Dini". Dalam proses penyusunannya, penulis menghadapi berbagai tantangan, hambatan, serta proses yang tidak mudah, baik dari segi waktu, pemahaman, maupun teknis penelitian. Namun, berkat doa, dukungan, bimbingan, serta bantuan dari berbagai pihak, skripsi ini akhirnya dapat diselesaikan dengan baik. Penulis menyadari bahwa penyusunan skripsi ini tidak terlepas dari peran banyak pihak yang telah memberikan kontribusi, baik secara langsung maupun tidak langsung. Oleh karena itu, penulis ingin menyampaikan penghargaan dan apresiasi kepada semua pihak yang telah membantu dalam penyelesaian skripsi ini. Penulis tentunya berterima kasih kepada berbagai pihak dalam dukungan serta doa dalam penyelesaian skripsi. Penulis juga mengucapkan terima kasih kepada:

1. Bapak Prof. Dr. Agussani, M.AP., Rektor Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara (UMSU)
2. Bapak Dr. Al-Khowarizmi, S.Kom., M.Kom. Dekan Fakultas Ilmu Komputer dan Teknologi Informasi (FIKTI) UMSU.

3. Ibu Dr. Firahmi Rizky, S.T,. M.Kom. Selaku Wakil Dekan 1 Fakultas Ilmu Komputer Dan Teknologi Informasi
4. Bapak Mhd. Basri, S.Si, M.Kom. Selaku Wakil Dekan 3 Fakultas Ilmu Komputer Dan Teknologi Informasi
5. Ibu Fatma Sari Hutagalung, S.Kom, M,Kom Ketua Program Studi Komputer dan Teknologi Informasi (FIKTI) UMSU.
6. Bapak Okvi Nugroho, S.Kom., M.Kom Sekretaris Program Studi Komputer dan Teknologi Informasi (FIKTI) UMSU.
7. Bapak Farid Akbar, S.Kom., M.Kom. Selaku dosen pembimbing yang telah meluangkan waktu untuk membimbing penulis selama penyusunan skripsi
8. Seluruh Bapak/Ibu Dosen di Program Studi Teknologi Informasi, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara yang telah banyak memberikan ilmu Teknologi Informasi kepada penulis.
9. Ucapan terima kasih yang tak terhingga juga penulis sampaikan untuk Ayah dan Bunda tercinta, terima kasih atas setiap doa yang tidak pernah putus, setiap pengorbanan yang tidak pernah terlihat lelah, serta kasih sayang yang selalu menguatkan penulis hingga mampu menyelesaikan skripsi ini. Tidak ada kata yang cukup untuk menggambarkan betapa besar cinta dan perjuangan yang telah diberikan. Di setiap langkah penulis, selalu ada dukungan dan harapan dari Ayah dan Bunda yang menjadi alasan penulis untuk terus bertahan dan berusaha memberikan yang terbaik. Skripsi ini menjadi salah satu bentuk kecil rasa bangga dan terima kasih penulis untuk segala perjuangan yang telah Ayah dan Bunda lakukan. Semoga Allah SWT senantiasa memberikan kesehatan, kebahagiaan, dan keberkahan dalam setiap langkah Ayah dan Bunda.
10. Untuk seseorang yang selalu menemani perjuangan ini, Jelita Tri Rezeky. Terima kasih karena telah menjadi teman berjuang terbaik selama proses penyusunan skripsi ini. Di tengah kesibukan dan tekanan yang sama-sama kita rasakan, engkau tetap hadir memberikan semangat, dukungan, dan

keyakinan bahwa semua ini dapat kita lewati bersama. Menjalani proses skripsi bersama bukanlah hal yang mudah, tetapi kehadiranmu membuat setiap rasa lelah terasa lebih ringan. Terima kasih karena selalu saling mengingatkan untuk tetap kuat, saling mendengarkan keluh kesah, dan saling mendukung untuk terus bertahan hingga sampai di titik ini. Semoga segala usaha, doa, dan perjuangan yang telah kita lalui dapat membuahkan hasil terbaik. Semoga Allah SWT memberikan kelancaran dalam setiap langkah kita, mempermudah segala urusan, dan mengantarkan kita meraih gelar sarjana dengan penuh rasa bangga dan bahagia. Terima kasih telah menjadi bagian penting dalam perjalanan ini dan tumbuh bersama dalam proses yang penuh cerita ini.

11. Kepada teman-teman seperjuangan dari semester 1 hingga saat ini, yaitu Rahmat Kurnia Nasution, Tuan Rizal Somba Hasibuan, dan Syaikhah Rabbani Rofid**,** terima kasih atas kebersamaan yang telah terjalin sejak awal perkuliahan hingga tahap akhir penyusunan skripsi ini. Perjalanan panjang ini tentu tidak mudah, namun menjadi lebih berarti karena adanya dukungan, bantuan, dan semangat yang kita saling berikan satu sama lain.Terima kasih atas setiap momen suka dan duka yang telah kita lalui bersama, mulai dari tugas-tugas perkuliahan, ujian, hingga proses skripsi yang penuh tantangan. Semoga kita semua diberikan kelancaran hingga wisuda dan dapat meraih kesuksesan Bersama.
12. Semua pihak yang terlibat langsung ataupun tidak langsung yang tidak dapat penulis ucapkan satu-persatu yang telah membantu penyelesaian skripsi ini.
13. Terakhir, untuk diri sendiri yang telah sampai di titik ini. Terima kasih karena sudah bertahan melewati semua proses yang tidak mudah, tetap berusaha meskipun lelah, dan tidak memilih menyerah di tengah jalan. Terima kasih karena sudah percaya pada kemampuan diri sendiri, terus belajar dari setiap kesalahan, dan tetap melangkah meski tidak selalu yakin. Perjalanan ini tidak selalu ringan, tetapi tetap dijalani sampai selesai. Terima kasih karena sudah tetap menjadi diri sendiri di setiap

keadaan, dan tidak berhenti berusaha untuk menjadi lebih baik dari sebelumnya.

PENGEMBANGAN APLIKASI PEMBELAJARAN HURUF DAN ANGKA BERBASIS ANDROID MENGGUNAKAN TEKNOLOGI AUGMENTED REALITY DENGAN MODEL SUCCESSIVE APPROXIMATION MODEL (SAM) UNTUK ANAK USIA DINI

Aji Firmansyah, Farid Akbar Siregar
Fakultas Ilmu Komputer dan Teknologi Informasi, Teknik Informasi,
Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara, Medan, Indonesia
Jl. Kapten Muchtar Basri No.3, Glugur Darat II, Kec. Medan Tim., Kota Medan, Sumatera Utara 20238
aji03624@gmail.com

ABSTRAK

Perkembangan teknologi digital mendorong inovasi media pembelajaran yang lebih interaktif, termasuk pada pendidikan anak usia dini. Namun, proses pembelajaran pengenalan huruf dan angka pada anak usia dini masih sering menggunakan metode konvensional yang kurang menarik dan kurang mampu meningkatkan keterlibatan belajar anak. Penelitian ini bertujuan mengembangkan aplikasi pembelajaran pengenalan huruf dan angka berbasis Android menggunakan teknologi Augmented Reality (AR) sebagai media pembelajaran interaktif bagi anak usia 4–6 tahun. Penelitian ini menggunakan metode Research and Development (R&D) dengan model pengembangan Successive Approximation Model (SAM) yang meliputi preparation phase, iterative design phase, dan iterative development phase. Aplikasi dikembangkan menggunakan Unity 3D, Vuforia Engine, dan bahasa pemrograman C#. Pengujian sistem dilakukan menggunakan metode Blackbox Testing untuk mengevaluasi fungsionalitas, stabilitas, dan kemudahan penggunaan aplikasi. Subjek penelitian melibatkan 50 anak usia dini sebagai pengguna aplikasi dan 2 guru PAUD/TK sebagai evaluator. Hasil penelitian menunjukkan bahwa aplikasi mampu menampilkan objek huruf dan angka dalam bentuk 3D melalui pemindaian marker serta memutar audio pelafalan secara real-time. Seluruh fitur aplikasi berjalan sesuai dengan rancangan sistem dan memperoleh tingkat keberhasilan fungsionalitas dalam kategori sangat baik. Berdasarkan evaluasi guru, aplikasi dinyatakan layak digunakan sebagai media pembelajaran pendukung dalam pengenalan huruf dan angka pada anak usia dini.

Kata Kunci: *Augmented Reality, Android, Successive Approximation Model, Media Pembelajaran, PAUD*

1. PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi digital telah membawa perubahan signifikan dalam berbagai bidang kehidupan, termasuk dalam dunia pendidikan. Pemanfaatan teknologi dalam proses pembelajaran memungkinkan terciptanya media belajar yang lebih interaktif, menarik, dan sesuai dengan karakteristik generasi digital saat ini. Salah satu teknologi yang mulai banyak dimanfaatkan dalam bidang pendidikan adalah Augmented Reality (AR). Teknologi AR memungkinkan pengguna untuk melihat dan berinteraksi dengan objek virtual yang ditampilkan pada dunia nyata melalui perangkat seperti kamera smartphone. Dengan teknologi ini, objek digital tiga dimensi (3D) dapat ditampilkan secara real-time sehingga mampu menciptakan pengalaman belajar yang lebih menarik dan interaktif [1].

Pada pendidikan anak usia dini, pengenalan huruf dan angka merupakan kemampuan dasar yang sangat penting sebagai fondasi awal sebelum anak mempelajari keterampilan membaca, menulis, dan berhitung. Anak usia 4–6 tahun yang berada pada jenjang PAUD dan TK berada pada tahap perkembangan kognitif yang membutuhkan stimulasi belajar yang menarik dan sesuai dengan karakteristik perkembangan mereka. Namun dalam praktik pembelajaran di kelas, proses pengenalan huruf dan angka masih sering menggunakan metode konvensional seperti buku bergambar, kartu huruf, maupun metode ceramah. Media pembelajaran tersebut seringkali kurang mampu menarik perhatian anak sehingga anak mudah merasa bosan dan minat belajar menjadi rendah [2].

Karakteristik perkembangan anak usia dini menunjukkan bahwa proses pembelajaran akan lebih efektif apabila melibatkan pengalaman belajar multisensori yang merangsang aspek visual, audio, dan motorik secara bersamaan. Pada tahap ini anak cenderung lebih mudah memahami materi pembelajaran melalui aktivitas yang bersifat interaktif dan menyenangkan. Oleh karena itu, diperlukan inovasi media pembelajaran yang mampu menghadirkan pengalaman belajar yang lebih menarik dan sesuai dengan gaya belajar anak usia dini [3].

Teknologi Augmented Reality (AR) memiliki potensi untuk menjadi solusi dalam mengatasi keterbatasan media pembelajaran konvensional. Melalui teknologi AR, huruf dan angka dapat ditampilkan dalam bentuk objek tiga dimensi yang muncul secara langsung melalui kamera perangkat smartphone, disertai dengan audio pelafalan yang membantu anak dalam mengenali bentuk serta bunyi huruf dan angka. Pendekatan ini memungkinkan proses pembelajaran berlangsung secara lebih interaktif sehingga dapat meningkatkan ketertarikan dan keterlibatan anak dalam belajar. Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa penggunaan media pembelajaran berbasis AR mampu meningkatkan

motivasi belajar serta membantu anak memahami materi dengan lebih mudah karena penyajiannya lebih menarik dan interaktif [4].

Meskipun memiliki potensi yang besar, penerapan teknologi AR dalam pembelajaran anak usia dini masih menghadapi beberapa tantangan. Beberapa penelitian menunjukkan bahwa media AR yang dikembangkan masih memiliki keterbatasan dalam aspek interaksi dan integrasi audio sehingga pengalaman belajar yang dihasilkan belum sepenuhnya optimal. Selain itu, pengembangan aplikasi AR perlu disesuaikan dengan tahap perkembangan kognitif anak usia dini agar materi yang disampaikan dapat dipahami dengan baik. Hal ini menunjukkan bahwa pengembangan media pembelajaran berbasis AR masih memerlukan pendekatan desain yang tepat agar mampu memenuhi kebutuhan belajar anak secara efektif [5].

Berdasarkan permasalahan tersebut, penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan aplikasi pembelajaran pengenalan huruf dan angka berbasis Android menggunakan teknologi Augmented Reality. Pengembangan aplikasi dilakukan menggunakan model Successive Approximation Model (SAM) karena model ini memiliki pendekatan yang lebih fleksibel dan memungkinkan proses evaluasi serta perbaikan secara iteratif selama tahap pengembangan. Pendekatan ini dinilai lebih adaptif dibandingkan model pengembangan linear karena mampu menyesuaikan kebutuhan pengguna secara lebih cepat [6].

Melalui pemanfaatan teknologi AR dan model pengembangan SAM, penelitian ini diharapkan dapat menghasilkan media pembelajaran yang lebih interaktif, menarik, dan sesuai dengan karakteristik belajar anak usia dini. Aplikasi yang dikembangkan diharapkan mampu membantu proses pengenalan huruf dan angka menjadi lebih menyenangkan serta meningkatkan keterlibatan anak dalam kegiatan belajar.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Pendidikan Anak Usia Dini dan Media Pembelajaran

Pendidikan Anak Usia Dini (PAUD) merupakan tahap pendidikan sebelum pendidikan dasar yang diperuntukkan bagi anak usia 0–6 tahun dan berperan penting dalam perkembangan kognitif, bahasa, sosial-emosional, dan motorik anak [7].

Pada fase ini anak berada dalam masa *golden age*, yaitu periode perkembangan yang sangat menentukan pembentukan kemampuan dasar anak. Oleh karena itu, proses pembelajaran pada tahap ini perlu dirancang sesuai dengan karakteristik perkembangan anak yang cenderung belajar melalui pengalaman langsung, eksplorasi visual, serta stimulasi multisensori.

Dalam praktik pembelajaran PAUD, penggunaan media pembelajaran menjadi faktor penting untuk meningkatkan minat dan keterlibatan anak dalam belajar. Media pembelajaran yang bersifat visual, audio, dan interaktif dapat membantu anak memahami konsep dengan lebih mudah dibandingkan metode pembelajaran konvensional yang hanya mengandalkan penjelasan verbal atau media cetak [8].

Oleh karena itu, pemanfaatan teknologi digital dalam pembelajaran anak usia dini menjadi salah satu alternatif untuk menciptakan pengalaman belajar yang lebih menarik dan efektif.

2.2. Augmented Reality dalam Pembelajaran Anak Usia Dini

Augmented Reality (AR) merupakan teknologi yang menggabungkan objek virtual dengan lingkungan nyata secara real-time melalui perangkat digital seperti kamera smartphone. Teknologi ini memungkinkan pengguna melihat objek tiga dimensi yang terintegrasi dengan dunia nyata sehingga menciptakan pengalaman belajar yang lebih imersif [10].

Dalam bidang pendidikan, AR telah banyak digunakan sebagai media pembelajaran interaktif karena mampu memvisualisasikan konsep abstrak menjadi lebih konkret. Pada pendidikan anak usia dini, penggunaan AR memungkinkan anak melihat objek pembelajaran dalam bentuk tiga dimensi yang disertai dengan elemen visual dan audio sehingga meningkatkan perhatian serta keterlibatan anak dalam proses belajar.

Beberapa penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa pemanfaatan teknologi AR dalam pembelajaran memberikan dampak positif terhadap motivasi belajar anak. Penelitian yang dilakukan oleh Akhmani dan Muhammad Fachrie menunjukkan bahwa media pembelajaran berbasis AR pada pengenalan huruf dan angka mampu meningkatkan minat belajar anak karena menghadirkan tampilan visual yang menarik dan interaktif[4].

Penelitian Muthoharoh dan Sakti, media interaktif memungkinkan keterlibatan aktif peserta didik dalam proses belajar, sehingga meningkatkan fokus dan konsentrasi[9].

Penelitian lain juga menunjukkan bahwa penggunaan AR dalam pembelajaran anak usia dini dapat membantu meningkatkan konsentrasi serta pemahaman konsep karena materi disajikan dalam bentuk visual tiga dimensi yang lebih mudah dipahami oleh anak [10], [11], [12].

Selain itu, penelitian mengenai pengembangan media pembelajaran berbasis AR menunjukkan bahwa teknologi ini efektif digunakan untuk mendukung proses pengenalan simbol dasar seperti huruf dan angka. Media pembelajaran yang menggabungkan elemen visual, audio, dan interaksi mampu memberikan pengalaman belajar yang lebih menyenangkan dibandingkan media konvensional [2].

Namun demikian, beberapa penelitian juga menunjukkan bahwa pengembangan media AR masih memiliki keterbatasan pada aspek interaksi dan desain

pembelajaran yang belum sepenuhnya disesuaikan dengan karakteristik perkembangan anak usia dini.

2.3. Model Pengembangan Successive Approximation Model (SAM)

Successive Approximation Model (SAM) merupakan model pengembangan instruksional yang diperkenalkan oleh Allen dan Sites sebagai alternatif dari model ADDIE yang bersifat linear. SAM menggunakan pendekatan iteratif yang menekankan pada pembuatan prototipe secara cepat serta evaluasi berulang selama proses pengembangan. Model ini terdiri atas tiga tahap utama, yaitu *preparation phase*, *iterative design phase*, dan *iterative development phase*.

Pendekatan iteratif dalam SAM memungkinkan pengembang melakukan perbaikan secara berkelanjutan berdasarkan umpan balik dari pengguna. Hal ini membuat proses pengembangan menjadi lebih fleksibel dan adaptif terhadap kebutuhan pengguna. Dalam pengembangan media pembelajaran berbasis teknologi, khususnya aplikasi interaktif, model SAM dinilai lebih efektif karena memungkinkan penyesuaian desain dan fitur aplikasi selama proses pengembangan berlangsung.

Berdasarkan kajian teori dan penelitian terdahulu tersebut, dapat disimpulkan bahwa pemanfaatan teknologi Augmented Reality yang dikembangkan melalui pendekatan desain yang tepat berpotensi menjadi media pembelajaran yang efektif bagi anak usia dini. Oleh karena itu, penelitian ini mengembangkan aplikasi pembelajaran pengenalan huruf dan angka berbasis Augmented Reality menggunakan model pengembangan Successive Approximation Model (SAM) untuk menghasilkan media pembelajaran yang interaktif dan sesuai dengan karakteristik belajar anak usia dini.

3. METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan pendekatan Research and Development (R&D) yang bertujuan untuk mengembangkan media pembelajaran berupa aplikasi pengenalan huruf dan angka berbasis Augmented Reality (AR) pada perangkat Android. Pendekatan R&D digunakan karena penelitian ini tidak hanya menganalisis fenomena pembelajaran, tetapi juga menghasilkan produk berupa aplikasi yang dirancang, diuji, dan disempurnakan hingga layak digunakan dalam proses pembelajaran.

Model pengembangan yang digunakan adalah Successive Approximation Model (SAM) yang dikemukakan oleh Michael Allen [16].

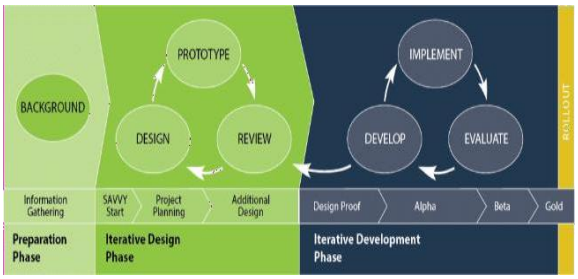
Model ini dipilih karena memiliki karakteristik iteratif yang memungkinkan proses pengembangan dilakukan secara bertahap melalui pembuatan prototipe, evaluasi, dan perbaikan berulang. Pendekatan ini dinilai sesuai untuk pengembangan aplikasi pembelajaran berbasis teknologi karena memungkinkan penyesuaian desain berdasarkan umpan balik pengguna.

3.1. Tahapan Pengembangan

Pengembangan aplikasi dalam penelitian ini mengikuti tiga tahapan utama dalam model SAM, yaitu Preparation Phase, Iterative Design Phase, dan Iterative Development Phase. Pada Preparation Phase, dilakukan analisis kebutuhan pembelajaran pada pendidikan anak usia dini melalui observasi terhadap karakteristik anak usia 4–6 tahun. Tahap ini juga mencakup penentuan materi pembelajaran yang meliputi huruf alfabet A–Z serta angka 0–9, serta analisis kebutuhan media pembelajaran interaktif yang sesuai dengan karakteristik belajar anak[14].

Pada Iterative Design Phase, dilakukan proses perancangan awal aplikasi yang meliputi desain alur sistem, rancangan antarmuka pengguna (user interface), serta perancangan marker yang digunakan sebagai pemicu munculnya objek tiga dimensi pada teknologi Augmented Reality. Pada tahap ini juga dibuat prototipe awal aplikasi untuk mengevaluasi kesesuaian desain dengan kebutuhan pengguna.

Pada Iterative Development Phase, prototipe yang telah dirancang kemudian dikembangkan menjadi aplikasi yang lebih lengkap melalui proses implementasi fitur, pengujian, dan perbaikan secara berulang hingga diperoleh versi aplikasi yang stabil dan siap digunakan. Evaluasi pada tahap ini dilakukan berdasarkan umpan balik dari pengguna dan evaluator.



Gambar 1. Model successive approximation model (SAM)

Gambar 1 menunjukkan kerangka kerja Successive Approximation Model (SAM) yang digunakan dalam proses pengembangan aplikasi pada penelitian ini.

3.2. Perancangan Sistem

Perancangan sistem dilakukan untuk memastikan aplikasi memiliki alur penggunaan yang sederhana dan mudah dipahami oleh anak usia dini. Sistem dirancang agar pengguna dapat membuka aplikasi, memilih menu pembelajaran huruf atau angka, melakukan pemindaian marker menggunakan kamera perangkat, serta melihat objek huruf atau angka dalam bentuk tiga dimensi yang disertai dengan suara pelafalan. Interaksi antara pengguna dan sistem digambarkan melalui use-case diagram yang menunjukkan bahwa anak berperan sebagai pengguna utama aplikasi, sedangkan guru berperan sebagai pendamping dalam proses pembelajaran sekaligus evaluator penggunaan aplikasi.

Selain itu, alur sistem juga digambarkan dalam bentuk flowchart yang menjelaskan proses kerja aplikasi mulai dari pembukaan aplikasi, pemilihan menu pembelajaran, proses pemindaian marker, hingga munculnya objek tiga dimensi beserta audio pelafalan.

3.3. Pengujian Sistem

Pengujian aplikasi dilakukan menggunakan metode black-box testing, yaitu metode pengujian yang berfokus pada pemeriksaan fungsi sistem tanpa melihat struktur kode program. Pengujian dilakukan untuk memastikan setiap fitur aplikasi berjalan sesuai dengan rancangan.

Fitur yang diuji meliputi navigasi menu, proses pemindaian marker, kemunculan objek tiga dimensi, pemutaran audio pelafalan, serta kestabilan aplikasi saat dijalankan pada perangkat Android. Evaluasi penggunaan aplikasi melibatkan dua orang guru PAUD/TK sebagai evaluator yang mendampingi anak selama proses penggunaan aplikasi. Guru memberikan penilaian terhadap aspek kemudahan penggunaan, kesesuaian fungsi aplikasi, serta stabilitas sistem saat digunakan dalam kegiatan pembelajaran.

3.4. Teknik Analisis Data

Data hasil pengujian dianalisis menggunakan pendekatan deskriptif kuantitatif berdasarkan hasil pengujian black-box testing. Tingkat keberhasilan fungsi aplikasi dihitung dengan membandingkan jumlah fitur yang berjalan sesuai dengan yang diharapkan dengan total fitur yang diuji. Persentase keberhasilan dihitung menggunakan rumus berikut:

$$\text{Persentase Keberhasilan} = \frac{\text{Jumlah Fitur Berhasil}}{\text{Total Fitur Diuji}} \times 100\%$$

Kriteria penilaian black-box testing ditentukan sebagai berikut:

- ≥ 85% = Sangat Baik
- 70%–84% = Baik
- < 70% = Perlu Perbaikan

Hasil analisis ini digunakan sebagai dasar evaluasi pada setiap tahap pengembangan hingga aplikasi mencapai kondisi yang optimal untuk digunakan sebagai media pembelajaran.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Implementasi Arsitektur Sistem Berbasis Augmented Reality

Hasil penelitian ini berupa aplikasi pembelajaran pengenalan huruf dan angka berbasis Augmented Reality (AR) yang dikembangkan untuk perangkat Android. Aplikasi ini dirancang untuk membantu anak usia dini mengenal huruf alfabet A–Z serta angka 0–9 melalui interaksi visual tiga dimensi yang dipadukan dengan audio pelafalan.

Aplikasi dikembangkan menggunakan Unity 3D sebagai engine pengembangan dan Vuforia Engine sebagai library pendukung teknologi AR[15].

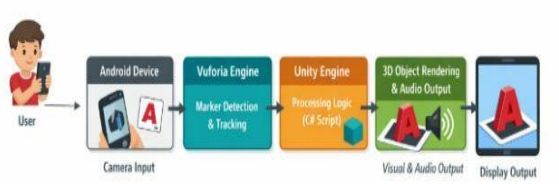
Sistem memanfaatkan pendekatan marker-based tracking, di mana setiap huruf dan angka direpresentasikan melalui marker yang dicetak dalam bentuk kartu pembelajaran. Ketika kamera perangkat Android diarahkan ke marker, sistem akan menampilkan objek huruf atau angka dalam bentuk tiga dimensi yang muncul secara langsung di layar perangkat[17].

Proses implementasi aplikasi menghasilkan beberapa fitur utama, yaitu:

a. Pemindaian marker huruf dan angka menggunakan kamera smartphone
b. Visualisasi objek huruf dan angka dalam bentuk tiga dimensi
c. Pemutaran audio pelafalan huruf atau angka secara otomatis
d. Interaksi real-time antara marker fisik dan objek digital

Integrasi antara visualisasi objek tiga dimensi dan audio pelafalan bertujuan untuk memberikan pengalaman belajar yang bersifat visual-auditori, sehingga anak dapat mengenali bentuk huruf sekaligus mendengar cara pelafalannya[18].

Gambar 2 menunjukkan arsitektur sederhana sistem Augmented Reality yang digunakan dalam aplikasi pembelajaran ini.



Gambar 2. Arsitektur system augmented reality berbasis android

4.2. Implementasi Tracking Marker dan Visualisasi Objek 3D

Pada tahap implementasi, setiap huruf dan angka yang digunakan dalam pembelajaran dibuat dalam bentuk marker yang kemudian diregistrasikan pada database Vuforia. Marker tersebut berfungsi sebagai pemicu untuk menampilkan objek tiga dimensi yang sesuai dengan huruf atau angka yang dipindai oleh kamera. Ketika kamera perangkat Android mendeteksi marker, sistem akan menampilkan objek huruf atau angka dalam bentuk model tiga dimensi yang muncul tepat di atas marker[19].

Objek tersebut akan mengikuti perubahan posisi dan orientasi marker secara real-time, sehingga menciptakan pengalaman interaksi yang dinamis bagi pengguna. Hasil implementasi menunjukkan bahwa sistem mampu mendeteksi marker secara stabil dalam kondisi penggunaan normal[20].

Objek tiga dimensi dapat ditampilkan dengan respons yang cepat dan tetap mengikuti pergerakan marker tanpa keterlambatan yang berarti. Selain itu, audio pelafalan huruf dan angka juga diputar secara otomatis ketika marker berhasil dikenali oleh sistem. Temuan ini menunjukkan bahwa teknologi AR yang

diterapkan mampu menghadirkan media pembelajaran yang lebih interaktif dibandingkan metode konvensional. Visualisasi tiga dimensi memungkinkan anak melihat bentuk huruf dan angka secara lebih jelas, sedangkan audio pelafalan membantu anak memahami cara membaca simbol tersebut.

4.3. Hasil Pengujian Fungsional Aplikasi

Validasi fungsional sistem dalam penelitian ini dilakukan menggunakan metode Black-Box Testing, yaitu pendekatan pengujian perangkat lunak yang berfokus pada evaluasi fungsi sistem tanpa menganalisis struktur internal atau kode sumber program. Pendekatan ini bertujuan untuk memastikan bahwa sistem bekerja sesuai dengan spesifikasi kebutuhan yang telah dirancang pada tahap analisis dan perancangan sistem. Black-box testing menilai sistem dari perspektif pengguna akhir (*end-user*), sehingga sangat relevan untuk memastikan aplikasi pembelajaran berbasis Augmented Reality (AR) yang dikembangkan benar-benar berjalan sesuai dengan kebutuhan pengguna.

Secara konseptual, black-box testing digunakan untuk mengevaluasi apakah fitur-fitur sistem beroperasi sesuai dengan kebutuhan dan spesifikasi yang telah ditentukan. Beberapa menunjukkan bahwa meskipun sebagian besar fungsi berjalan dengan baik, masih ditemukan permasalahan validasi input yang perlu diperbaiki[21].

Temuan tersebut menunjukkan bahwa black-box testing efektif dalam mengidentifikasi kesalahan fungsional yang berdampak langsung pada pengalaman pengguna.

Metode ini juga terbukti aplikatif pada berbagai domain sistem informasi. Pengujian terhadap sistem informasi Tracer Study di Universitas Panca Development menunjukkan bahwa black-box testing mampu memverifikasi keakuratan dan kegunaan informasi yang disajikan kepada pengguna[22].

Demikian pula, pada aplikasi SIMPORA, metode ini digunakan untuk memvalidasi fungsi input data proyek dan monitoring anggaran sehingga sistem dapat dipastikan berjalan sesuai kebutuhan organisasi[23].

Hal ini menegaskan bahwa black-box testing merupakan metode yang fleksibel dan relevan untuk berbagai jenis sistem, termasuk aplikasi AR berbasis pendidikan seperti dalam penelitian ini.

Dalam konteks penelitian ini, pengujian dilakukan dengan mensimulasikan penggunaan aplikasi secara langsung pada perangkat Android. Setiap fitur utama diuji berdasarkan skenario yang telah ditentukan, meliputi:

Tabel 1. Skenario pengujian Black-Box Testing

No	Fitur yang Diuji	Skenario Pengujian	Input	Output yang Diharapkan	Hasil Aktual	Status
1	Instalasi & Launching	Aplikasi diinstal dan dibuka	Tap ikon aplikasi	Splash screen dan menu utama tampil	Sesuai harapan	Valid
2	Navigasi Menu	Memilih menu “Mulai AR”	Tap tombol	Kamera aktif dan siap tracking	Kamera aktif	Valid
3	Deteksi Marker Huruf	Kamera diarahkan ke marker huruf A–Z	Marker huruf	Objek 3D huruf sesuai marker muncul	Objek sesuai marker	Valid
4	Deteksi Marker Angka	Kamera diarahkan ke marker angka 0–9	Marker angka	Objek 3D angka sesuai marker muncul	Objek sesuai marker	Valid
5	Rendering Real-Time	Marker digerakkan/diputar	Perubahan posisi marker	Objek mengikuti orientasi secara real-time	Responsif tanpa delay signifikan	Valid
6	Pemutaran Audio	Marker berhasil terdeteksi	Marker aktif	Audio pelafalan diputar otomatis	Audio sinkron	Valid
7	Stop Audio Otomatis	Marker tidak lagi terdeteksi	Marker hilang	Audio berhenti dan objek hilang	Berfungsi normal	Valid
8	Stabilitas Sistem	Aplikasi digunakan ±20 menit	Penggunaan kontinu	Tidak crash atau freeze	Stabil	Valid
9	Uji Jarak Kamera	Kamera 10–60 cm dari marker	Variasi jarak	Marker terdeteksi dalam jarak efektif	Optimal 15–50 cm	Valid
10	Uji Pencahayaan	Marker diuji pada cahaya redup	Intensitas cahaya rendah	Marker tetap terdeteksi (dengan toleransi)	Masih terdeteksi optimal	Valid

Berdasarkan Tabel 4.2, seluruh fitur utama aplikasi dinyatakan berjalan sesuai dengan spesifikasi kebutuhan yang telah dirancang. Sistem mampu mengenali marker huruf A–Z dan angka 0–9 yang telah diregistrasi pada Vuforia Target Manager, menampilkan objek tiga dimensi secara real-time yang mengikuti orientasi marker, serta memutar audio pelafalan secara sinkron tanpa delay yang signifikan. Selama proses pengujian tidak ditemukan kesalahan berupa crash, ketidaksesuaian objek (mismatch rendering), maupun kegagalan pemanggilan audio. Meskipun demikian, metode black-box testing

memiliki keterbatasan karena tidak menganalisis struktur internal kode atau logika algoritmik sehingga tidak dapat mendeteksi kesalahan yang mungkin tersembunyi pada level implementasi internal. Efektivitas pengujian ini sangat bergantung pada kelengkapan dan kualitas skenario uji yang dirancang, sehingga untuk validasi yang lebih komprehensif dapat dipertimbangkan kombinasi dengan metode white-box testing. Secara keseluruhan, hasil pengujian menunjukkan bahwa aplikasi pembelajaran huruf dan angka berbasis Augmented Reality yang dikembangkan dalam penelitian ini telah memenuhi validasi fungsional, di mana seluruh fitur utama berjalan sesuai dengan spesifikasi kebutuhan sistem dan dinyatakan layak untuk dilanjutkan ke tahap uji coba pengguna yang melibatkan anak dan guru sebagaimana direncanakan dalam metodologi penelitian.

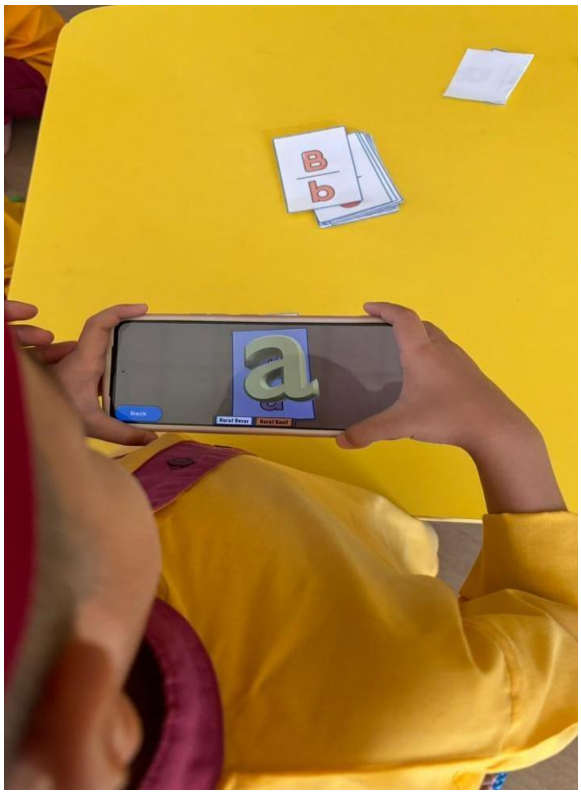
4.4. Pembahasan

Pembahasan pada bagian ini bertujuan untuk menganalisis secara lebih mendalam hasil pengujian dan uji coba aplikasi pembelajaran huruf dan angka berbasis Augmented Reality yang telah dilakukan pada tahap sebelumnya. Analisis difokuskan pada aspek performa sistem, stabilitas, akurasi tracking marker, serta kemudahan penggunaan dalam konteks pembelajaran anak usia dini. Pembahasan ini tidak hanya mendeskripsikan hasil pengamatan, tetapi juga mengaitkannya dengan tujuan penelitian, hipotesis awal, serta ruang lingkup yang telah ditetapkan. Dengan demikian, bagian ini berfungsi untuk menilai sejauh mana aplikasi yang dikembangkan menggunakan model Successive Approximation Model (SAM) telah memenuhi kriteria kelayakan sebagai media pembelajaran pendukung berbasis teknologi AR.

4.5. Evaluasi Performa dan Stabilitas Sistem pada Penggunaan Nyata

Evaluasi performa dan stabilitas sistem dilakukan untuk menilai bagaimana aplikasi pembelajaran huruf dan angka berbasis Augmented Reality (AR) bekerja ketika digunakan secara langsung oleh anak usia dini dalam lingkungan kelas PAUD/TK. Pengujian ini bertujuan untuk memastikan bahwa sistem tidak hanya valid secara teknis berdasarkan Black-Box Testing, tetapi juga stabil dan responsif dalam kondisi penggunaan nyata.

Uji coba dilakukan terhadap 50 anak usia 4–6 tahun dengan pendampingan 2 guru sebagai fasilitator. Aplikasi dijalankan pada perangkat Android sesuai dengan spesifikasi minimum yang telah ditentukan pada tahap perancangan. Selama proses penggunaan, peneliti melakukan observasi terhadap aspek responsivitas sistem, kecepatan rendering objek 3D, kestabilan aplikasi, serta potensi gangguan teknis yang muncul.



Gambar 3. Dokumentasi uji coba aplikasi di lingkungan PAUD/TK

Berdasarkan hasil pengamatan, aplikasi dapat berjalan stabil selama sesi penggunaan tanpa ditemukan kejadian crash, force close, maupun freeze meskipun digunakan secara bergantian oleh beberapa anak. Objek tiga dimensi huruf dan angka muncul dengan cepat setelah marker terdeteksi oleh kamera, serta tetap mengikuti orientasi marker secara real-time tanpa lag yang signifikan. Audio pelafalan juga diputar secara sinkron dengan kemunculan objek 3D tanpa gangguan seperti suara terputus atau keterlambatan pemanggilan. Dalam kondisi pencahayaan kelas yang bervariasi, sistem masih mampu mengenali marker dengan baik, meskipun pada kondisi pencahayaan yang sangat redup atau jarak kamera yang terlalu dekat diperlukan penyesuaian posisi dengan bantuan guru. Secara keseluruhan, hasil evaluasi menunjukkan bahwa aplikasi memiliki performa yang responsif dan stabil sehingga layak digunakan sebagai media pembelajaran pendukung bagi anak usia dini.

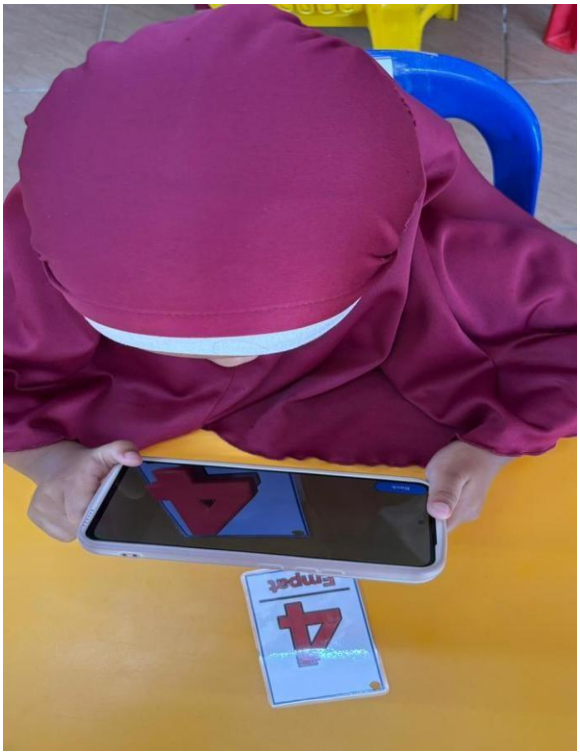
4.6. Evaluasi Akurasi Tracking Marker dalam Lingkungan Kelas

Evaluasi akurasi tracking marker dilakukan untuk menilai kemampuan sistem dalam mengenali marker huruf alfabet A–Z serta angka 0–9 yang digunakan dalam aplikasi. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sebagian besar marker dapat dikenali dengan cepat ketika berada pada jarak dan posisi yang sesuai terhadap kamera. Objek tiga dimensi yang muncul juga sesuai dengan marker yang dipindai tanpa ditemukan kesalahan identifikasi antara huruf atau angka.

Selain itu, objek 3D mampu mengikuti perubahan orientasi marker secara real-time ketika marker digerakkan atau diputar oleh pengguna. Kondisi ini menunjukkan bahwa integrasi antara modul tracking dan sistem rendering telah berjalan dengan baik dan mendukung pengalaman belajar yang lebih interaktif. Namun demikian, akurasi deteksi marker dapat menurun ketika marker tertutup sebagian atau ketika kondisi pencahayaan tidak optimal.



Gambar 4. Dokumentasi proses pemindaian marker huruf anak usia dini

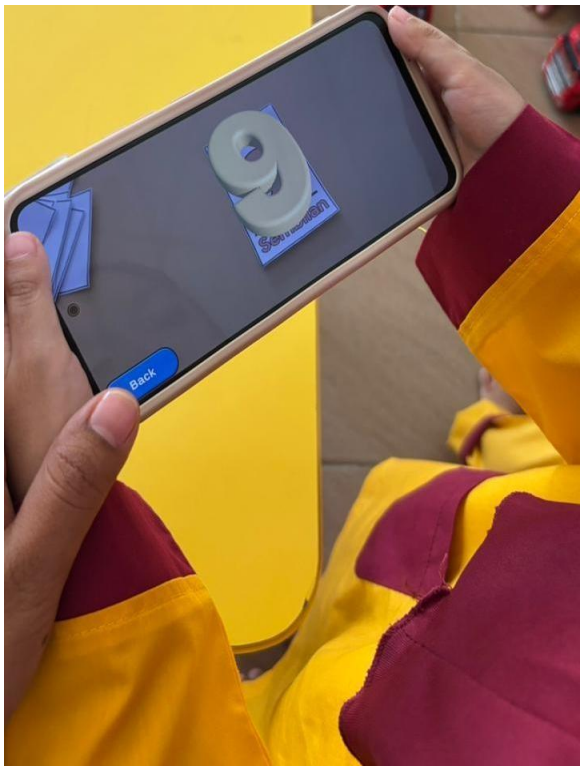


Gambar 5. Dokumentasi respons tracking marker dan kemunculan objek 3d secara real-time

Berdasarkan pengamatan, sistem menunjukkan kemampuan tracking marker yang cukup akurat dalam mengenali huruf dan angka ketika dipindai menggunakan kamera perangkat Android. Objek tiga dimensi yang dihasilkan dapat muncul dan mengikuti orientasi marker secara real-time, sehingga mendukung interaksi visual yang lebih menarik bagi anak usia dini. Meskipun demikian, terdapat beberapa kondisi yang memengaruhi akurasi deteksi, seperti ketika marker tertutup sebagian oleh tangan anak atau ketika pencahayaan ruangan kurang memadai. Pada situasi tersebut, sistem memerlukan penyesuaian jarak atau posisi marker agar dapat dikenali kembali oleh kamera. Namun, kendala ini bersifat teknis dan dapat diatasi melalui arahan sederhana dari guru selama proses pembelajaran berlangsung. Secara keseluruhan, hasil evaluasi menunjukkan bahwa sistem memiliki tingkat akurasi tracking yang memadai untuk digunakan dalam lingkungan kelas PAUD/TK, sehingga mendukung kelancaran proses pembelajaran berbasis Augmented Reality sebagai media pengenalan huruf dan angka bagi anak usia dini.

4.7. Evaluasi Usability dan User Experience Berdasarkan Observasi Guru

Evaluasi usability dan *user experience* dilakukan untuk menilai tingkat kemudahan penggunaan aplikasi serta respons anak usia dini terhadap media pembelajaran berbasis Augmented Reality yang dikembangkan. Penilaian ini dilakukan melalui observasi langsung selama sesi uji coba dan melalui masukan dari 2 guru PAUD/TK yang mendampingi proses penggunaan aplikasi di kelas.



Gambar 6. Dokumentasi pendampingan guru dalam penggunaan aplikasi AR

Dari aspek usability, aplikasi dinilai memiliki antarmuka yang sederhana dan mudah dipahami, dengan tata letak menu yang minimalis serta ikon yang jelas sehingga memudahkan anak mengenali fungsi dasar aplikasi dengan arahan singkat dari guru. Navigasi dari menu utama menuju fitur pemindaian marker dapat dilakukan tanpa prosedur yang kompleks, sesuai dengan karakteristik pengguna usia 4–6 tahun yang masih berada pada tahap perkembangan motorik dan kognitif awal. Selama proses penggunaan, sebagian besar anak mampu mengarahkan kamera perangkat ke marker dengan pendampingan minimal serta mengikuti instruksi sederhana seperti memegang perangkat secara stabil dan mengarahkan kamera ke kartu huruf atau angka. Dari sisi user experience, kemunculan objek tiga dimensi yang interaktif disertai audio pelafalan menimbulkan respons positif dan antusiasme anak, bahkan beberapa anak secara spontan menirukan pelafalan yang diputar oleh sistem. Guru juga menyampaikan bahwa visualisasi 3D dan efek suara memberikan variasi dalam metode pembelajaran sehingga membantu menarik perhatian anak selama sesi berlangsung. Meskipun demikian, penggunaan aplikasi tetap memerlukan pendampingan aktif dari guru untuk memastikan perangkat digunakan dengan benar dan proses pemindaian marker berjalan optimal. Secara keseluruhan, hasil observasi menunjukkan bahwa aplikasi memiliki tingkat usability yang baik dan mampu memberikan pengalaman belajar yang menarik serta efektif dalam mendukung proses pengenalan huruf dan angka bagi anak usia dini, sehingga mendukung hipotesis bahwa media pembelajaran berbasis Augmented Reality dapat menjadi alternatif yang interaktif dan mudah digunakan dalam pendidikan anak usia dini.

4.8. Analisis Keterbatasan Sistem dan Rekomendasi Pengembangan

Meskipun aplikasi yang dikembangkan telah menunjukkan performa yang stabil dan tingkat usability yang baik, penelitian ini masih memiliki beberapa keterbatasan. Pertama, performa aplikasi masih dipengaruhi oleh spesifikasi perangkat Android yang digunakan, khususnya pada kualitas kamera dan kapasitas perangkat. Kedua, akurasi deteksi marker masih dipengaruhi oleh kondisi pencahayaan lingkungan kelas. Ketiga, materi pembelajaran yang dikembangkan dalam penelitian ini masih terbatas pada pengenalan huruf dan angka dasar tanpa fitur evaluasi pembelajaran interaktif.

Oleh karena itu, pengembangan selanjutnya dapat diarahkan pada peningkatan optimasi sistem agar lebih kompatibel dengan berbagai perangkat Android, pengembangan fitur interaktif seperti kuis atau evaluasi pembelajaran, serta penerapan teknologi markerless AR untuk meningkatkan fleksibilitas penggunaan dalam berbagai kondisi pembelajaran.

Secara keseluruhan, hasil pembahasan menunjukkan bahwa aplikasi pembelajaran berbasis Augmented Reality yang dikembangkan dalam penelitian ini memiliki potensi sebagai media pembelajaran yang interaktif dan mudah digunakan dalam konteks pendidikan anak usia dini.

5. KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil penelitian dan pengembangan aplikasi pembelajaran huruf dan angka berbasis Augmented Reality (AR) untuk anak usia dini, dapat disimpulkan bahwa sistem yang dirancang telah berhasil diimplementasikan sesuai dengan tahapan metodologi yang telah ditetapkan. Aplikasi mampu mengintegrasikan fitur pemindaian marker, rendering objek tiga dimensi, serta pemutaran audio pelafalan secara fungsional pada platform Android. Hasil pengujian menggunakan metode Black-Box Testing menunjukkan bahwa seluruh fitur utama aplikasi berjalan sesuai dengan skenario pengujian tanpa ditemukan kesalahan fungsi yang signifikan.

Dalam pengujian penggunaan nyata di lingkungan PAUD/TK yang melibatkan 50 anak usia 4–6 tahun dengan pendampingan 2 guru, aplikasi menunjukkan performa yang stabil dan responsif. Tidak ditemukan gangguan teknis seperti crash, force close, maupun freeze selama sesi penggunaan berlangsung. Objek tiga dimensi mampu muncul secara cepat setelah marker terdeteksi dan mengikuti pergerakan marker secara real-time tanpa lag yang berarti. Dari aspek akurasi tracking, sistem mampu mengenali marker dengan baik pada kondisi pencahayaan kelas yang normal, meskipun masih memerlukan penyesuaian pada kondisi pencahayaan ekstrem.

Berdasarkan observasi guru, aplikasi dinilai memiliki tingkat usability yang baik dengan antarmuka yang sederhana dan mudah dipahami oleh anak usia dini. Visualisasi objek 3D serta audio pelafalan memberikan pengalaman belajar yang lebih interaktif dan mampu meningkatkan perhatian serta antusiasme anak selama proses pembelajaran. Secara keseluruhan, aplikasi yang dikembangkan dalam penelitian ini dinyatakan layak digunakan sebagai media pembelajaran pendukung dalam pengenalan huruf dan angka bagi anak usia dini.

Optimalisasi kompatibilitas pada berbagai spesifikasi perangkat Android perlu dilakukan agar aplikasi dapat digunakan secara lebih luas dan merata. Selain itu, penambahan fitur interaktif seperti kuis atau evaluasi otomatis dapat memperkuat nilai pedagogis aplikasi sekaligus memungkinkan pengukuran capaian belajar anak secara lebih terstruktur. Pengembangan teknologi berbasis *markerless* juga dapat dipertimbangkan untuk mengurangi ketergantungan pada media cetak dan meningkatkan fleksibilitas penggunaan. Untuk penelitian selanjutnya, disarankan dilakukan pengujian dalam jangka waktu yang lebih panjang serta pada lingkungan sekolah yang lebih beragam guna memperoleh gambaran yang lebih komprehensif mengenai efektivitas penggunaan aplikasi, sehingga media pembelajaran berbasis

Augmented Reality ini dapat terus dikembangkan menjadi sarana pembelajaran yang tidak hanya menarik secara visual, tetapi juga memberikan kontribusi yang signifikan terhadap proses pendidikan anak usia dini.

DAFTAR PUSTAKA

[1] Z. A. Yılmaz and A. İ. C. Gözüm, "Augmented reality app in pre-school education: Children's knowledge about animals," *Southeast Asia Early Child. J.*, vol. 12, no. 2, pp. 130–151, 2023, doi: 10.37134/saecj.vol12.2.8.2023.

[2] D. S. Wulandari and B. Hendriana, "Pengembangan Media Pembelajaran Untuk Pengenalan Huruf Pada Anak Usia Dini Berbasis Augmented Reality," *VOX EDUKASI J. Ilm. Ilmu Pendidik.*, vol. 6, no. April, pp. 22–35, 2022.

[3] F. Yanti and J. Sutresna, "Alphabet Recognition with Augmented Reality Technology Based on Android Using Extreme Programming Model," *JUITA J. Inform.*, vol. 10, no. 1, p. 37, 2022, doi: 10.30595/juita.v10i1.12125.

[4] M. akhmani Akhmani and Muhammad Fachrie, "Aplikasi belajar huruf dan angka pada anak usia dini berbasis augmented reality," *INFOTECH J. Inform. Teknol.*, vol. 4, no. 2, pp. 212–223, 2023, doi: 10.37373/infotech.v4i2.857.

[5] N. Nasution, Y. Darmayunata, and S. Wahyuni, "Pengembangan Media Pembelajaran Anak Usia Dini berbasis Augmented Reality," *J. Obsesi J. Pendidik. Anak Usia Dini*, vol. 6, no. 6, pp. 6462–6468, 2022, doi: 10.31004/obsesi.v6i6.3408.

[6] C. A. Ali, "A comparative study of SAM and ADDIE models in simulating STEM instruction," *Afr. Educ. Res. J.*, vol. 9, no. 4, pp. 852–859, 2021, doi: 10.30918/aerj.94.21.125.

[7] A. U. A. Etivali, "Pendidikan Anak Usia Dini," *J. Penelit. Medan Agama*, vol. 10, no. 2, Dec. 2019, doi: 10.58836/jpma.v10i2.6414.

[8] Kasmiati and Rahman, "Meningkatkan Motivasi Belajar Anak Usia Dini di Era digital melalui Program Macromedia Flash 8," *PAUD Lect. J. Pendidik. Anak Usia Dini*, vol. 5, no. 03, pp. 121–131, 2022, doi: 10.31849/paud-lectura.v5i03.11157.

[9] V. Muthoharoh and N. C. Sakti, "Media Pembelajaran Interaktif Menggunakan Adobe Flash CS6 Untuk Pembelajaran IPS Siswa Sekolah Menengah Atas," *Edukatif J. Ilmu Pendidik.*, vol. 3, no. 2, pp. 364–375, 2021, doi: 10.31004/edukatif.v3i2.315.

[10] F. Aydoğdu and M. Kelpšiene, "Uses of Augmented Reality in Preschool Education," *Int. Technol. Educ. J.*, vol. 5, no. 1, pp. 11–20, 2021.

[11] U. Khairin and Y. Ariani, "Pengembangan Media Pembelajaran Berbasis Softwere Blender Materi Jaring-Jaring Bangun Ruang di Kelas V Sekolah Dasar," *J. Pendidik. Tambusai*, vol. 6, no. 2, pp. 14317–14322, 2022.

[12] D. N. Al Husaeni, M. Munir, and R. Rasim, "How to Create Augmented Reality (AR) Applications Using Unity and Vuforia Engine to Teach Basic Algorithm," *Indones. J. Teach. Sci.*, vol. 4, no. 2, pp. 189–204, 2024.

[13] H. Hanifah, N. Imansyah, and A. Zain, "Implementasi Augmented Reality Dalam Game Edukasi Berbasis Android," *J. Sains Dan Sist. Teknol. Inf.*, vol. 5, no. 1, pp. 33–41, 2023, doi: 10.59811/sandi.v5i1.20.

[14] G. A. Muzak, "Literatur Review : Sejarah Terciptanya Operasi Sistem Android Sebagai Pion Multimedia Umat Manusia Gusti," *PELITA Teknol. J.*, vol. 17, no. 2, pp. 24–32, 2022, doi: https://doi.org/10.37366/pelitatekno.v17i2.3336.

[15] Mustagfirin and E. Kurniawan, "Media Pembelajaran Bahasa Inggris Berbasis Android Menggunakan Unity 3D (Studi Kasus Sekolah Dasar Negeri 01 Kalisidi)," *Pros. Sains Nas. Dan Teknol.*, vol. 13, no. 1, pp. 289–300, 2023.

[16] M. Allen, "The Successive Approximation Model (SAM)," in *Trends and Issues in Instructional Design and Technology*, 5th ed., Routledge, 2024.

[17] K. Prayitno, Sunardi, and H. Yuliansyah, "Implementasi Markerless Location-Based Untuk Aplikasi Augmented Reality Berbasis Android," *J. Teknol. Inf. Dan Ilmu Komput.*, vol. 12, no. 1, pp. 47–56, Feb. 2025, doi: 10.25126/jtiik.2025129193.

[18] M. Mustika, C. G. Rampengan, R. Sanjaya, and S. Sofyan, "Implementasi Augmented Reality Sebagai Media Pembelajaran Interaktif," *Creat. Inf. Technol. J.*, vol. 2, no. 4, pp. 277–291, 2015, doi: 10.24076/citec.2015v2i4.55.

[19] M. D. Dogan *et al.*, "BrightMarker: 3D Printed Fluorescent Markers for Object Tracking," in *Proceedings of the 36th Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology*, San Francisco CA USA: ACM, Oct. 2023, pp. 1–13. doi: 10.1145/3586183.3606758.

[20] T. S. Yee, H. Arshad, and A. Abdullah, "Development of a PC-based markerless augmented reality," in *2015 International Conference on Electrical Engineering and Informatics (ICEEI)*, Denpasar, Bali, Indonesia: IEEE, Aug. 2015, pp. 49–53. doi: 10.1109/ICEEI.2015.7352468.

[21] Jasmine Aulia Mumtaz *et al.*, "Functional Testing of the JivaJoy Online Product Stock Management and Ordering System Software Using Black Box Testing," *Int. J. Comput. Technol. Sci.*, vol. 2, no. 1, pp. 47–57, Nov. 2024, doi: 10.62951/ijcts.v2i1.126.

[22] M. Zen, Irwan, Hafni, and M. D. P. Ananda, "Implementasi dan Pengujian Menggunakan Metode BlackBox Testing Pada Sistem Informasi Tracer Study," *Bull. Comput. Sci. Res.*, vol. 4, no. 4, pp. 327–340, Jun. 2024, doi: 10.47065/bulletincsr.v4i4.359.

[23] M. Firdaus, "PHP-Based SIMPORA Application Testing Using the Blackbox Method," *J. Innov. Comput. Sci. JICS*, vol. 1, no. 2, pp. 49–53, Apr. 2025, doi: 10.57053/jics.v1i2.93.