

Penerapan Unity2D dalam Pengembangan Aplikasi Pembelajaran Abjad BISINDO Berbasis Augmented Reality

Kerenhapukh Priskila Waworuntu^{*1}, Marlin Syellen Pasanda², Wanda Angella Pantouw³, Ade Yusupa⁴, Victor Tarigan⁵

^{1,2,3,4,5}Program Studi Teknik Informatika, Universitas Sam Ratulangi
Manado, Sulawesi Utara, Indonesia

wkrenhapukh@gmail.com¹, marlin.pasanda@gmail.com², wandapantouw@gmail.com³, ade@unsrat.ac.id⁴, victortarigan@unsrat.ac.id⁵

Abstract. Communication is a fundamental human need, including for individuals with speech and hearing impairments. Indonesian Sign Language (BISINDO) serves as the primary means of communication for the Deaf community. However, the process of learning BISINDO still faces various challenges, particularly the lack of interactive, visual, and easily accessible learning media for the general public and children with special needs. Conventional media such as books or static images are considered less effective in conveying sign movements comprehensively. This study aims to develop a BISINDO alphabet learning application based on Augmented Reality (AR) technology using the Marker-Based Tracking method. The application was designed using the Unity2D platform and Vuforia SDK, allowing users to scan specific markers to display real-time visual animations of BISINDO letters. The development method includes stages of data collection, system design, implementation, and testing through marker detection tests and user testing. The test results indicate that the application can detect markers with up to 95% accuracy under optimal lighting conditions. In addition, the application provides an interactive, engaging, and user-friendly learning experience. These findings demonstrate that the integration of AR technology in educational media holds great potential to enhance the effectiveness and accessibility of BISINDO learning. The application is expected to serve as an inclusive educational tool and support the equitable distribution of sign language education across various communities.

Keywords: *Augmented Reality, BISINDO, Unity2D, Vuforia SDK.*

Abstrak. Komunikasi merupakan kebutuhan dasar manusia, termasuk bagi penyandang Tuna Rungu Wicara. Bahasa Isyarat Indonesia (BISINDO) adalah sarana komunikasi utama untuk komunitas Tuna Rungu Wicara. Namun, proses pembelajaran BISINDO masih mengalami berbagai tantangan, terutama keterbatasan media pembelajaran yang interaktif, visual, dan mudah diakses oleh masyarakat umum maupun anak-anak dengan kebutuhan khusus. Media konvensional seperti buku atau gambar statis dianggap kurang efisien dalam menyampaikan gerakan isyarat secara menyeluruh. Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan aplikasi pembelajaran abjad BISINDO yang berbasis teknologi Augmented Reality (AR) dengan menggunakan metode Marker-Based Tracking. Aplikasi ini dirancang dengan memanfaatkan platform Unity2D dan Vuforia SDK, memungkinkan pengguna untuk memindai marker tertentu agar dapat menampilkan animasi visual huruf-huruf BISINDO secara real-time. Metode pengembangan yang digunakan mencakup tahapan pengumpulan data, perancang sistem, implementasi, serta pengujian melalui uji deteksi marker dan uji pengguna. Hasil pengujian menunjukkan bahwa aplikasi mampu

mendeteksi marker dengan tingkat akurasi hingga 95% pada kondisi pencahayaan optimal. Selain itu, aplikasi memberikan pengalaman belajar yang interaktif, menarik, dan mudah dipahami oleh pengguna. Temuan ini menunjukkan bahwa integrasi teknologi AR dalam media pembelajaran memiliki potensi besar dalam meningkatkan efektivitas dan aksesibilitas pembelajaran BISINDO. Aplikasi ini diharapkan dapat berfungsi sebagai media edukatif yang inklusif, dan mendukung pemerataan pembelajaran bahasa isyarat di berbagai kalangan.

Kata Kunci: Augmented Reality, BISINDO, Unity2D, Vuforia SDK.

I. PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi informasi dan komunikasi telah menyebabkan perubahan besar dalam berbagai bidang kehidupan, termasuk di sektor pendidikan [1]. Salah satu inovasi teknologi yang semakin umum diterapkan adalah Augmented Reality (AR), yang merupakan teknologi yang memungkinkan pengguna mengintegrasikan elemen digital dengan dunia nyata [2]. Teknologi ini menawarkan pengalaman interaktif yang bisa diterapkan di berbagai sektor, seperti hiburan, pemasaran, pendidikan, dan industri. AR memiliki kemampuan yang signifikan dalam meningkatkan efisiensi pembelajaran, terutama untuk kelompok dengan kebutuhan khusus, seperti komunitas Tuna Rungu Wicara. Komunitas ini memanfaatkan Bahasa Isyarat Indonesia (BISINDO) sebagai sarana komunikasi utama dalam aktivitas sehari-hari [3]. Namun, proses pembelajaran BISINDO tetap menghadapi sejumlah tantangan, seperti kurangnya media interaktif, pemahaman yang rendah terhadap gerakan tangan, dan terbatasnya aksesibilitas.

Di samping itu, keberadaan guru atau instruktur yang berkompeten dalam pengajaran bahasa isyarat masih menjadi kendala, khususnya di beberapa daerah di Indonesia. Media pembelajaran yang tersedia saat ini seperti buku teks dan gambar statis cenderung kurang interaktif [4], sehingga sulit untuk menarik perhatian belajar dan membatasi pemahaman pengguna mengenai konsep abstrak dalam bahasa isyarat. Sebagai akibatnya, banyak individu, baik dari komunitas Tuna Rungu Wicara maupun masyarakat luas, mengalami kesulitan dalam memahami gerakan tangan serta ekspresi yang tepat dalam bahasa isyarat [5]. Akibat terbatasnya jumlah tenaga pengajar yang berkualitas, sejumlah daerah di Indonesia menghadapi perbedaan dalam pembelajaran BISINDO.

Keterbatasan bahan media interaktif juga menyebabkan banyak orang kesulitan untuk mengingat dan memahami setiap gerakan isyarat yang sesuai. Akibatnya, minat belajar menjadi rendah dan terdapat keterbatasan dalam menguasai bahasa isyarat bagi mereka yang ingin mempelajarinya.

Untuk menyelesaikan permasalahan itu, diperlukan inovasi teknologi yang mampu meningkatkan efektivitas pembelajaran secara visual dan interaktif [6]. Salah satu solusi yang bisa diterapkan adalah *Augmented Reality* (AR) dengan pendekatan Marker-Based Tracking. Dengan teknologi ini, pengguna dapat belajar sambil menyaksikan animasi gerakan isyarat secara real-time menggunakan ponsel. Melalui dukungan kamera perangkat, sistem mampu mengenali gambar penanda tertentu dan menampilkan animasi model 2D yang menunjukkan gerakan isyarat huruf alfabet BISINDO. Metode ini tidak hanya memfasilitasi pengguna untuk memahami isyarat dengan lebih mendalam, tetapi juga menjadikan proses pembelajaran lebih menyenangkan dan mandiri tanpa perlu bergantung pada pengajar. Studi ini bertujuan untuk menciptakan aplikasi AR berbasis marker untuk pengajaran abjad BISINDO dan menilai keefektifan metode Marker-Based Tracking dalam proses pembelajaran. Manfaat yang diperoleh dari penelitian ini adalah:

1. Membantu komunitas Tuna Rungu Wicara dalam memahami abjad BISINDO secara lebih interaktif.
2. Menyediakan media pembelajaran yang inovatif bagi pendidik dan masyarakat umum.

Dengan pengembangan aplikasi ini, diharapkan pembelajaran BISINDO dapat diakses lebih mudah dan lebih luas oleh berbagai kalangan, mulai dari komunitas Tuna Rungu Wicara, guru, hingga masyarakat umum yang ingin mempelajari bahasa isyarat. Aplikasi ini juga diharapkan dapat memberikan dampak yang signifikan dalam menciptakan lingkungan yang lebih ramah bagi komunitas Tuna Rungu Wicara, serta meningkatkan interaksi komunikasi antara mereka dengan masyarakat umum. Inovasi ini dapat memberikan pengaruh besar terhadap terwujudnya komunikasi yang mudah antara komunitas Tuna Rungu Wicara dan masyarakat umum, sehingga akan semakin memperkuat inklusivitas dalam berbagai aspek kehidupan sosial dan pendidikan [7]. Namun, beberapa isu yang menjadi perhatian dalam penelitian ini adalah:

1. Bagaimana mengimplementasikan teknologi AR berbasis marker dalam pembelajaran abjad BISINDO?
2. Seberapa efektif metode Marker-Based Tracking dalam meningkatkan pemahaman pengguna terhadap abjad BISINDO?
3. Bagaimana evaluasi kinerja aplikasi dalam mendukung proses pembelajaran BISINDO?

Melalui jawaban atas pertanyaan-pertanyaan tersebut, Penelitian ini diharapkan mampu menghasilkan solusi kreatif yang tidak hanya memperdalam pemahaman pengguna terhadap BISINDO, tetapi juga memfasilitasi inklusivitas dalam berbagai bidang kehidupan sosial dan pendidikan. Di

samping itu, studi ini juga bertujuan untuk menunjukkan bahwa teknologi AR dapat berfungsi sebagai alat yang efektif dalam meningkatkan aksesibilitas dan efektivitas belajar bahasa isyarat, terutama untuk komunitas Tuna Rungu Wicara yang sering mengalami kesulitan dalam pendidikan dan komunikasi [8].

Dengan pengembangan aplikasi berbasis AR ini, diharapkan bahwa pembelajaran BISINDO bisa diakses dengan lebih mudah dan luas oleh berbagai kalangan, termasuk komunitas Tuna Rungu Wicara, pendidik, serta masyarakat umum yang ingin belajar bahasa isyarat. Aplikasi ini memberikan berbagai keuntungan, tidak hanya dalam meningkatkan pemahaman dan kemampuan masyarakat terhadap BISINDO, tetapi juga dalam berkontribusi secara nyata untuk menciptakan lingkungan yang inklusif bagi komunitas Tuna Rungu Wicara [9]. Inovasi ini mampu menghasilkan dampak besar bagi terjalannya komunikasi yang lancar antara komunitas Tuna Rungu Wicara dan masyarakat umum, sehingga akan semakin meningkatkan inklusivitas dalam berbagai bidang kehidupan sosial dan pendidikan.

II. METODE PENELITIAN

Penelitian ini dirancang untuk mengembangkan aplikasi pembelajaran abjad BISINDO (Bahasa Isyarat Indonesia) berbasis Augmented Reality (AR) menggunakan platform Unity2D. Metode penelitian ini mencakup sejumlah langkah utama yang diatur secara sistematis untuk memastikan bahwa pengembangan aplikasi dapat dilakukan secara efektif, praktis dan kreatif. Tujuan utama dari penelitian ini adalah untuk menciptakan solusi teknologi yang dapat membantu pengguna mempelajari abjad BISINDO dengan cara yang interaktif dan menarik dengan menggunakan teknologi AR (marker-based AR). Tahapan-tahapan utama dalam metodologi penelitian ini meliputi:

1) Pengembangan Aplikasi

Proses pengembangan aplikasi merupakan inti dari penelitian ini. Aplikasi dikembangkan menggunakan Unity2D, sebuah platform pengembangan game dan aplikasi interaktif yang sangat fleksibel dan mendukung integrasi teknologi AR. Dalam proses ini, teknologi AR diterapkan melalui Vuforia SDK, sebuah alat pengembangan AR yang memungkinkan pengguna untuk secara visual abjad BISINDO melalui penanda (marker) yang telah dirancang khusus [10]. Penggunaan Unity2D telah dipilih untuk kemampuan menyediakan antarmuka pengguna (IU), serta dengan mudah mengintegrasikan aset visual seperti gerakan tangan dan ilustrasi abjad BISINDO. Selain itu, aplikasi ini dirancang untuk dapat dijalankan pada perangkat smartphone Android/iOS, sehingga dapat diakses oleh target pengguna secara luas.

2) Teknologi

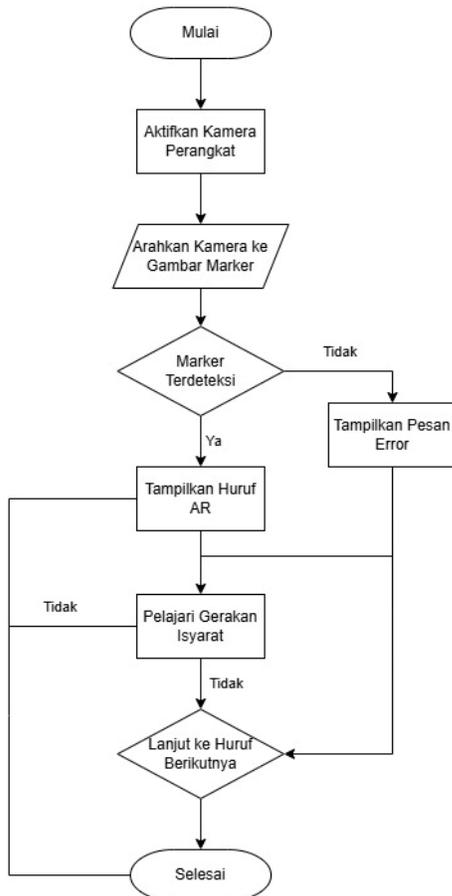
Penelitian ini menggunakan beberapa teknologi utama untuk mengembangkan aplikasi Augmented Reality (AR)

berbasis Marker-Based Tracking dalam pembelajaran abjad BISINDO, yaitu:

- a. Unity2D - Digunakan sebagai platform utama dalam pengembangan aplikasi AR. Mendukung pembuatan objek visual dan interaksi berbasis 2D.
- b. Vuforia SDK - Merupakan framework AR yang mendukung metode Marker-Based. Digunakan untuk mendeteksi dan mengenali gambar (marker) yang telah ditentukan, sehingga dapat menampilkan huruf abjad BISINDO secara real-time.
- c. Adobe Photoshop dan Canva - Digunakan untuk membuat dan mengedit gambar marker yang akan digunakan dalam proses deteksi huruf BISINDO.

3) Flowchart

Flowchart dibuat untuk memberikan gambaran jelas tentang alur proses pengembangan aplikasi secara keseluruhan. Flowchart ini mencakup langkah-langkah mulai dari analisis kebutuhan hingga evaluasi hasil akhir. Dengan adanya flowchart, proses pengembangan menjadi lebih terstruktur dan mudah dipahami, baik oleh tim pengembang maupun pembaca penelitian. Flowchart juga membantu mengidentifikasi potensi masalah atau hambatan yang mungkin muncul selama proses pengembangan[11]. Berikut adalah flowchart proses aplikasi:



Gambar 1. Flowchart Aplikasi

Penjelasan Flowchart :

- a. Mulai : Pengguna membuka aplikasi dan memulai sesi belajar.
- b. Aktifkan Kamera : Sistem akan langsung mengaktifkan kamera perangkat pengguna sebagai media untuk mendeteksi marker.
- c. Arahkan Kamera ke Gambar Marker : Menginstruksikan pengguna untuk memberikan input fisik berupa arah kamera ke objek marker, agar sistem dapat melakukan proses pendeteksian marker.
- d. Marker Terdeteksi : Sistem akan memeriksa apakah marker berhasil terdeteksi atau tidak. Proses ini menggunakan teknologi marker-based tracking dari Vuforia.
- e. Tampilkan Huruf AR : Setelah marker berhasil dideteksi, huruf abjad BISINDO dalam bentuk 3D akan ditampilkan di layar menggunakan teknologi AR.
- f. Tampilkan Pesan Error : Menampilkan respons sistem saat marker tidak terdeteksi.
- g. Pelajari Gerakan Isyarat : Pengguna dapat mengamati dan mempelajari animasi gerakan tangan yang sesuai dengan huruf tersebut sebagai bagian dari proses pembelajaran.
- h. Lanjut ke Huruf Berikutnya : Setelah selesai mempelajari huruf yang tampil, sistem memberikan opsi kepada pengguna untuk melanjutkan ke huruf berikutnya.
- i. Selesai : Proses dihentikan jika pengguna tidak ingin melanjutkan ke huruf berikutnya.

Flowchart ini tidak hanya membantu menjelaskan alur interaksi antara pengguna dan aplikasi, tetapi juga memastikan bahwa setiap tahap pengembangan dapat dipahami dengan jelas. Selain itu, flowchart ini berguna sebagai panduan untuk mengidentifikasi area yang memerlukan perhatian lebih lanjut, seperti optimasi deteksi marker atau penyempurnaan UI.

4) Proses Pengujian

Pengujian aplikasi dilakukan untuk memastikan fungsionalitas dan efektivitas sistem dalam mendukung pembelajaran BISINDO. Beberapa tahap pengujian yang dilakukan adalah:

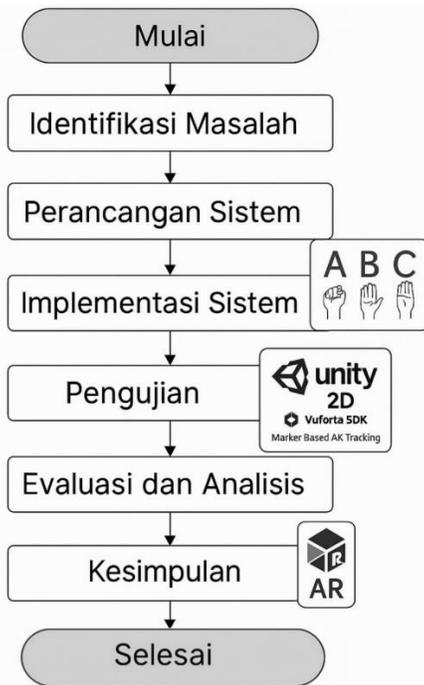
a. Uji Deteksi Marker

Menggunakan berbagai kondisi pencahayaan untuk mengukur keakuratan sistem dalam mengenali gambar marker. Menganalisis kecepatan aplikasi dalam menampilkan huruf abjad BISINDO setelah marker terdeteksi.

b. Uji Performa Aplikasi

Mengukur frame rate dan responsivitas aplikasi saat digunakan pada perangkat dengan spesifikasi berbeda. Menguji stabilitas sistem dalam mendeteksi marker secara berulang tanpa terjadi kesalahan.

5) Metode



Gambar 2. Alur Penelitian

Penelitian ini menggunakan metode pengembangan perangkat lunak dengan pendekatan prototyping yang terdiri dari beberapa tahapan utama:

a. Identifikasi Masalah

Menentukan permasalahan utama, yaitu tidak tersedianya media pembelajaran interaktif untuk mengenalkan huruf-huruf dalam Bahasa Isyarat Indonesia (BISINDO) kepada komunitas Tuna Rungu Wicara.

b. Perancangan Sistem

Merancang sistem aplikasi pembelajaran, meliputi desain alur aplikasi, antarmuka pengguna (UI), serta integrasi teknologi Augmented Reality berbasis marker.

c. Implementasi Sistem

Mengembangkan aplikasi dengan Unity2D dan Vuforia SDK menggunakan pendekatan marker-based tracking. Aplikasi akan menampilkan huruf BISINDO dalam bentuk visual 3D yang interaktif.

d. Pengujian

Melakukan pengujian aplikasi untuk mengetahui fungsionalitasnya, termasuk pengujian deteksi marker, stabilitas sistem, dan kinerja pada berbagai perangkat.

e. Evaluasi dan Analisis

Mengevaluasi hasil pengujian berdasarkan kriteria efektivitas, efisiensi, dan kenyamanan penggunaan. Analisis dilakukan untuk melihat kekuatan dan kekurangan sistem yang dikembangkan.

f. Kesimpulan

Menarik simpulan berdasarkan seluruh hasil proses pengembangan dan pengujian. Kesimpulan menyatakan tingkat keberhasilan aplikasi dalam meningkatkan pengalaman belajar BISINDO secara interaktif. Bagian ini memuat penjelasan tentang tahap-tahap alur penelitian yang menggambarkan urutan logis untuk mendapatkan output penelitian sesuai dengan harapan.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Prosedur dan Hasil tiap Tahapan

1) Tahap Perencanaan

Pada tahap ini dilakukan analisis untuk menentukan kebutuhan teknis dan fungsional aplikasi, seperti fitur AR, model huruf 3D, dan interaksi pengguna. Kelompok melakukan penelitian terhadap beberapa study kasus dan jurnal penelitian terkait implementasi penggunaan bahasa isyarat Indonesia berbasis AR.

2) Tahap Desain

Model huruf 3D diunduh dari CGTrader dan dicek kembali untuk memastikan dapat digunakan oleh Unity Engine. Pada tahap ini juga kelompok mulai mendesain UI seperti background Main Menu dan Button-button yang digunakan menggunakan Canva.



Gambar 3. Desain asset 3D model huruf alfabet

Gambar 3 menunjukkan desain aset 3D huruf alfabet yang digunakan dalam aplikasi pembelajaran BISINDO. Desain ini terdiri dari model huruf A hingga Z yang kompatibel dengan Unity, dan dirancang untuk ditampilkan secara interaktif saat marker terdeteksi oleh sistem AR.



Gambar 4. Desain Button-button dalam aplikasi.

Gambar 4 memperlihatkan desain tombol antarmuka pengguna (UI) dalam aplikasi, seperti tombol “Mulai”, “Tentang Kami”, “Keluar” dan “Kembali”. Desain tombol dibuat sederhana dan responsif agar mudah digunakan oleh pengguna dari berbagai kalangan.



Gambar 5. Desain Main Menu.

Gambar 5 menampilkan tampilan awal (Main Menu) dari aplikasi. Tampilan ini merupakan halaman utama yang akan dilihat pengguna pertama kali ketika aplikasi dijalankan.

3) Tahap Implementasi

Kami mengimport 3D Model huruf ke Unity. Setiap huruf diberi tag khusus untuk mempermudah pengenalan gestur di aplikasi. Plugin AR Foundation digunakan untuk mengintegrasikan teknologi AR ke dalam aplikasi. Fitur ini memungkinkan kamera perangkat mengenali gestur tangan pengguna dan menampilkan huruf 3D yang sesuai. Kelompok juga membuat script untuk mengatur interaksi tiap-tiap button dan scene yang ada di dalam aplikasi.



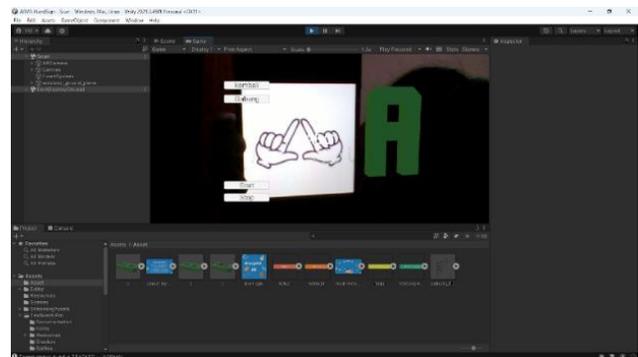
Gambar 6. Proses development aplikasi - Scene tampilan Main Menu.

Gambar 6 menunjukkan scene halaman utama (Main Menu) dalam tampilan editor Unity2D. Gambar ini memperlihatkan susunan objek UI yang telah dirancang menggunakan Canva dan diimpor ke dalam Unity.



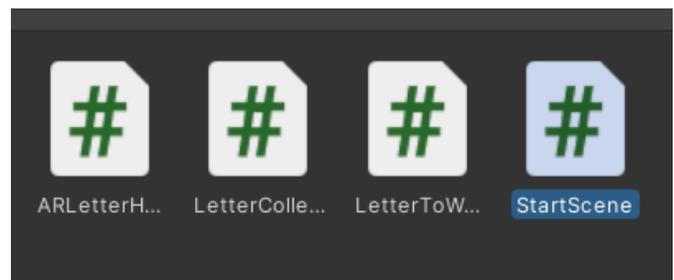
Gambar 7. Proses development aplikasi - Scene Tentang Kami.

Gambar 7 menggambarkan tampilan scene “Tentang Kami” dalam aplikasi, yang berisi informasi mengenai tujuan aplikasi, pengembang, serta kontak yang dapat dihubungi jika pengguna membutuhkan bantuan atau ingin memberikan masukan.



Gambar 8. Proses development aplikasi - Scan bahasa isyarat berdasarkan ilustrasi tangan yang diberikan.

Gambar 8 menampilkan tampilan saat kamera mendeteksi marker dan memunculkan objek huruf abjad dalam bentuk AR. Huruf muncul bersama ilustrasi tangan yang menunjukkan isyarat BISINDO dari huruf tersebut.



Gambar 9. Proses development aplikasi - Script-script yang digunakan.

Gambar 9 memperlihatkan potongan skrip pemrograman (script) dalam Unity yang digunakan untuk mengatur logika deteksi marker, pemanggilan objek huruf, dan navigasi dalam aplikasi.

B. Tutorial Menggunakan Aplikasi

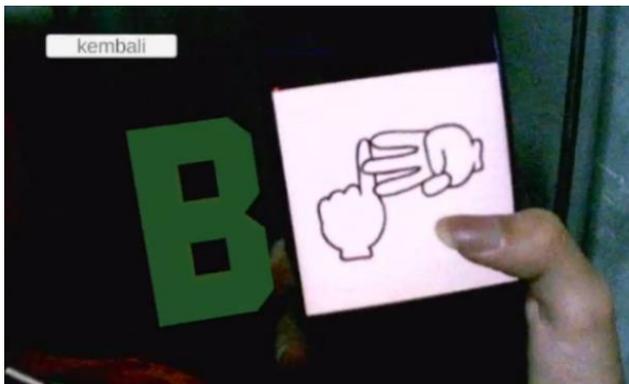
- 1) Buka aplikasi dan tunggu hingga tampilan main menu muncul

- 2) Tap button MULAI untuk masuk pada Augmented Reality (AR) BISINDO



Gambar 10. Main Menu.

- 3) Tampilkan ilustrasi pada kamera, maka secara otomatis akan muncul huruf berbentuk 3D Model disamping ilustrasi



Gambar 11. Hasil scan bahasa isyarat berdasarkan ilustrasi yang diberikan.

C. Pengujian Fungsionalitas & Kinerja Aplikasi

Setelah implementasi selesai, dilakukan serangkaian pengujian untuk mengevaluasi performa dan efektivitas aplikasi.

Tabel 1. Hasil Pengujian Fungsionalitas dan Kinerja Aplikasi AR BISINDO.

[Sumber : Data Pribadi]

No	Hasil Pengujian	
	Jenis Pengujian	Hasil Singkat
1	Uji Deteksi Marker	Akurasi 95% (pencahayaan optimal), 87% (pencahayaan redup).
2	Kecepatan Respon	Cepat dan responsif setelah marker terdeteksi.
3	Stabilitas Aplikasi	Stabil tanpa error saat digunakan dalam waktu lama.
4	Frame Rate pada Perangkat Tinggi (RAM 8GB, Snapdragon 8xx)	Stabil di 60 FPS
5	Frame Rate pada Perangkat Menengah	45–50 FPS

	(RAM 4GB, Snapdragon 6xx)	
6	Frame Rate pada Perangkat Rendah (RAM 2GB, Mediatek 4xx)	25–30 FPS dengan sedikit delay

1) Uji Fungsionalitas

Pengujian ini menggunakan metode black-box testing untuk menguji setiap fitur utama aplikasi, meliputi:

- Kemampuan aplikasi dalam mendeteksi marker dengan berbagai tingkat pencahayaan.
- Kecepatan respons dalam menampilkan huruf abjad BISINDO setelah marker dikenali.
- Stabilitas aplikasi saat digunakan dalam jangka waktu tertentu.

Hasil pengujian menunjukkan bahwa aplikasi mampu mengenali marker dengan akurasi 95% dalam kondisi pencahayaan optimal dan 87% dalam pencahayaan redup.

2) Uji Kinerja Aplikasi

Untuk memastikan aplikasi berjalan dengan lancar, dilakukan pengujian performa pada berbagai perangkat Android dengan spesifikasi berbeda. Hasilnya:

- Perangkat kelas atas (RAM 8GB, Snapdragon 8xx): Frame rate stabil di 60 FPS.
- Perangkat kelas menengah (RAM 4GB, Snapdragon 6xx): Frame rate berkisar 45–50 FPS.
- Perangkat kelas bawah (RAM 2GB, Mediatek 4xx): Frame rate turun hingga 25–30 FPS dengan sedikit keterlambatan dalam deteksi marker.

IV. KESIMPULAN

Penelitian ini berhasil mengembangkan aplikasi pembelajaran abjad Bahasa Isyarat Indonesia (BISINDO) berbasis Augmented Reality (AR) menggunakan metode Marker-Based Tracking dengan platform Unity2D dan Vuforia SDK. Aplikasi yang dikembangkan bertujuan untuk memberikan alternatif media pembelajaran yang lebih interaktif, visual, dan menarik bagi komunitas Tuna Rungu Wicara serta masyarakat umum yang ingin mempelajari BISINDO. Berdasarkan hasil pengujian fungsionalitas dan kinerja aplikasi, sistem mampu mendeteksi marker dengan akurasi sebesar 95% dalam kondisi pencahayaan optimal dan 87% dalam pencahayaan redup. Kecepatan respons aplikasi tergolong baik, meskipun sedikit dipengaruhi oleh spesifikasi perangkat, di mana perangkat kelas atas mampu menjalankan aplikasi stabil pada 60 FPS, sementara perangkat kelas bawah mengalami sedikit penurunan performa. Antarmuka aplikasi dirancang intuitif agar mudah digunakan oleh berbagai kalangan tanpa memerlukan bantuan instruktur secara langsung. Hasil uji pengguna menunjukkan bahwa mayoritas

responden merasa aplikasi ini membantu mereka dalam memahami bentuk dan gerakan abjad BISINDO secara real-time melalui animasi 3D yang ditampilkan. Kelebihan utama dari aplikasi ini adalah kemampuannya dalam menyajikan pembelajaran yang lebih mandiri, interaktif, dan visual, sehingga dapat meningkatkan minat belajar serta aksesibilitas pendidikan bagi penyandang disabilitas sensorik. Namun, aplikasi masih memiliki beberapa keterbatasan, seperti sensitivitas deteksi marker terhadap kondisi pencahayaan dan ketergantungan pada spesifikasi perangkat untuk menjaga kelancaran tampilan grafis. Sebagai implikasi penelitian, aplikasi ini dapat menjadi solusi dalam memperluas akses pendidikan dan meningkatkan inklusivitas komunikasi antara komunitas Tuna Rungu Wicara dengan masyarakat umum. Untuk pengembangan selanjutnya, disarankan untuk meningkatkan akurasi deteksi marker dalam berbagai kondisi lingkungan, menambahkan fitur latihan interaktif, serta memperluas materi pembelajaran hingga mencakup kombinasi huruf menjadi kata atau frasa dalam BISINDO agar manfaat aplikasi semakin luas dan mendalam bagi pengguna.

PERNYATAAN PENGHARGAAN

Penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada dosen pembimbing yang telah memberikan bimbingan, arahan, serta masukan yang sangat berharga selama proses penelitian ini berlangsung. Bimbingan yang diberikan menjadi dasar penting dalam pengembangan aplikasi Augmented Reality (AR) untuk pembelajaran abjad Bahasa Isyarat Indonesia (BISINDO). Kesabaran dan ilmu yang dibagikan sangat membantu penulis dalam memahami konsep teknologi AR serta penerapannya secara praktis. Ucapan terima kasih juga disampaikan kepada teman-teman satu tim yang telah berkontribusi dalam proses desain, implementasi, dan pengujian aplikasi. Kerja sama yang baik dan semangat juang yang tinggi dari seluruh anggota tim turut membantu dalam mewujudkan aplikasi ini secara maksimal. Setiap diskusi, ide, dan solusi yang diberikan oleh rekan-rekan sangat berarti dalam mengatasi berbagai tantangan selama proses pengembangan. Dukungan dan masukan dari semua pihak sangat membantu dalam penyempurnaan hasil penelitian ini. Tanpa bantuan dari pembimbing dan kerja sama yang solid dari teman-teman, penelitian dan pengembangan aplikasi AR berbasis marker untuk pembelajaran BISINDO ini tidak akan tercapai dengan optimal.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Bashri, A., Puspitawati, R. P., Sri, M., Jurusan, P., & Fmipa Unesa, B. (2022). IMPLEMENTASI MEDIA PEMBELAJARAN BERBASIS AUGMENTED REALITY. 7(2), 212–217. <https://smadahgresik.sch.id>
- [2] Christa Kitsy Nelwan, D. J. M. B. A. S. A. Y. (n.d.). Rancang Bangun Aplikasi Pembelajaran Interaktif Untuk Anak Sekolah Dasar Kelas 1.
- [3] Dewi, M., Wahyuningrum, T., & Adi Prasetyo, N. (n.d.). Journal of Informatics, Information System, Software Engineering and Applications Pengenalan Kata Bahasa Isyarat Indonesia (BISINDO) Menggunakan Augmented Reality (AR). 3(2), 53–060. <https://doi.org/10.20895/INISTA.V3I2>
- [4] Hamdani, I. M., & Syamsumar Bustamin. (2023). Pengoptimalan Komunikasi Bahasa Isyarat Abjad dengan Augmented Reality. Jurnal PROCESSOR, 18(2). <https://doi.org/10.33998/processor.2023.18.2.872>

- [5] Inayah, Y., & Prasetyo, T. (n.d.). MENINGKATKAN KUALITAS BELAJAR MELALUI TEKNOLOGI SEBAGAI MEDIA PEMBELAJARAN UNTUK ANAK YANG BERKEBUTUHAN KHUSUS. <https://doi.org/10.55352/mudir>
- [6] Kharis, M., Andika, M., & Arga Damar Rani, H. (n.d.). Aplikasi Augmented Reality Interaktif Tuna Rungu Berbasis Android pada Sekolah Luar Biasa ABCD Muhammadiyah Palu.
- [7] Mariah Ulfah dan Siti Ubaidah UIN Sulthan Thaha Saifuddin Jambi, S. (n.d.). Ulfah Penerapan Bahasa Isyarat dalam Pembelajaran bagi Anak Berkebutuhan Khusus Tuna Rungu. In JOURNAL OF DISABILITY STUDIES AND RESEARCH (Vol. 2023, Issue 1). JDSR.
- [8] MENGENAL FLOWCHART DAN PSEUDOCODE DALAM ALGORITMA DAN PEMROGRAMAN. (n.d.).
- [9] Pujakesuma, D., Dyah Kusuma Ningrum, G., & Arigiana Umami, A. (n.d.). IMPLEMENTASI TEKNOLOGI AUGMENTED REALITY DALAM PENGEMBANGAN MEDIA PEMBELAJARAN INTERAKTIF UNTUK SISWA KELAS X. 4(6), 2024. <https://doi.org/10.17977/um065.v3.i10.2024.4>
- [10] Rahmat, R., & Noviyanti, N. (2021). Augmented Reality untuk Materi Bangun Ruang Menggunakan Unity 3D, Vuforia SDK dan Aplikasi Blender. JURNAL TIKTA, 5(3), 86–92. <https://doi.org/10.51179/tika.v5i3.59>
- [11] Yusupa, A., Sutrisno, A., Jumadi, B., Sitompul, D., & Tarigan, V. (n.d.). JIP (Jurnal Informatika Polinema) PENGEMBANGAN AUGMENTED REALITY MARKETING (ARM) MENGGUNAKAN ALGORITMA FAST CORNER SEBAGAI MEDIA PROMOSI PRODUK FURNITURE PELAKU USAHA.