

IMPLEMENTASI AUGMENTED REALITY (AR) SEBAGAI MEDIA PEMBELAJARAN INTERAKTIF DALAM VISUALISASI PROYEK INFRASTRUKTUR JEMBATAN

Kanisius Domingus Mua^{1*}, Yohanis Malelak², Hasibun Asikin³

^{1,2,3}Teknik informatika Strata Satu, Universitas Uyelindo

^{1*}andomua010@gmail.com, ²yohanismalelak32@gmail.com, ³doktorbento@gmail.com

DOI: 10.46880/mtk.v12i2.6222

ABSTRACT

This study aims to develop an interactive learning medium based on Augmented Reality (AR) that is capable of visualizing bridge structures clearly, realistically, and comprehensively for students of SMKS Sanjaya Bajawa, as well as evaluating its effectiveness as a learning medium. The research employed the Research and Development (R&D) method using the Lee & Owens model, which consists of the stages of Assessment/Analysis, Needs Assessment, Front-End Analysis, Design, Development, Implementation, and Evaluation. The application was developed using Unity 3D, Vuforia SDK, and Blender to create a three-dimensional bridge model that can be displayed through Augmented Reality technology on Android devices. The results of the study indicate that the ARJembatan application was successfully developed and that all major features functioned properly based on Black Box Testing. The results of the User Acceptance Testing (UAT), involving 10 eleventh-grade students of SMKS Sanjaya Bajawa, showed that the majority of respondents provided positive evaluations of the application. As many as 90% of respondents stated that the application was beneficial as a learning medium, 90% considered the application menu easy to use, and 90% found the implementation of Augmented Reality technology in the application engaging and attractive. Furthermore, the interactive 3D visualization helped students understand bridge structures and components more clearly compared to conventional learning media.

Keywords: *Augmented Reality, Bridge Structure, Learning Media, Unity 3D, Vuforia SDK.*

I. PENDAHULUAN

Jembatan merupakan komponen penting dalam sistem transportasi yang memiliki peran strategis dalam mendukung aktivitas sosial, ekonomi, serta pemerataan pembangunan di berbagai wilayah. Infrastruktur ini tidak hanya berfungsi sebagai sarana penghubung antarwilayah yang terpisah secara geografis, tetapi juga menjadi elemen kunci dalam memperlancar distribusi barang, mobilitas masyarakat, dan akses terhadap layanan publik. Di banyak daerah di Indonesia, termasuk wilayah Nusa Tenggara Timur (NTT), pembangunan jembatan menjadi salah satu prioritas pemerintah mengingat kondisi geografisnya yang terdiri atas kawasan berbukit, lembah, dan sungai, sehingga menuntut ketersediaan infrastruktur transportasi yang kuat, aman, dan terintegrasi. Peningkatan kualitas infrastruktur jembatan dinilai mampu memperkuat konektivitas antarwilayah, mendorong pertumbuhan ekonomi lokal, serta meningkatkan akses pelayanan publik secara berkelanjutan.

Dalam konteks pendidikan kejuruan, pemahaman mengenai struktur, desain, dan fungsi jembatan merupakan kompetensi penting bagi peserta didik, khususnya pada jurusan teknik yang mempelajari konstruksi bangunan dan infrastruktur. Di SMKS Sanjaya Bajawa, proses pembelajaran mengenai infrastruktur jembatan selama ini masih mengandalkan media konvensional seperti gambar dua dimensi, foto, maket sederhana, serta penjelasan melalui buku teks. Meskipun bermanfaat, media tersebut memiliki keterbatasan dalam menyajikan visualisasi yang detail dan interaktif, sehingga sering kali menyulitkan siswa dalam memahami hubungan antarbagian struktur, dimensi, skala, serta prinsip desain jembatan secara menyeluruh. Hal ini berdampak pada rendahnya kemampuan visualisasi spasial siswa dan keterbatasan

pengalaman belajar terhadap objek konstruksi yang sebenarnya. Penelitian oleh (Ghofar, et al., 2025)[1] menemukan bahwa pengembangan media pembelajaran berbasis *Augmented Reality* (AR) pada materi spesifikasi jembatan membantu mengubah gambar 2-D menjadi model 3-D interaktif sehingga memudahkan siswa memvisualisasikan struktur jembatan dan meningkatkan kelayakan media pembelajaran.

Seiring berkembangnya inovasi teknologi, *Augmented Reality* (AR) muncul sebagai salah satu metode visualisasi modern yang sangat potensial untuk diterapkan dalam pembelajaran bidang konstruksi. AR memungkinkan penggabungan objek virtual tiga dimensi dengan lingkungan nyata melalui perangkat digital seperti *smartphone* atau tablet. Melalui teknologi ini, model jembatan dapat ditampilkan dalam bentuk 3D interaktif yang dapat diputar, diperbesar, dan diamati dari berbagai sudut pandang. Fitur tersebut memberikan pengalaman belajar yang lebih imersif dan memudahkan siswa memahami struktur jembatan secara detail, mulai dari pondasi, pilar, rangka, hingga bagian dek. Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa AR mampu meningkatkan efektivitas komunikasi visual dan memperkuat pemahaman siswa terhadap konsep teknis melalui representasi visual yang lebih realistis dan mendalam. Hasil studi pada pembelajaran konstruksi di SMK juga menemukan bahwa penerapan AR secara signifikan meningkatkan pemahaman siswa terhadap gambar teknik dan hasil belajar dibandingkan metode konvensional [2].

Walaupun berbagai penelitian telah membuktikan efektivitas AR dalam mendukung proses pembelajaran teknik, penerapannya pada tingkat pendidikan menengah kejuruan, terutama di daerah seperti Bajawa, masih sangat terbatas. Sebagian besar pemanfaatan AR masih terfokus pada perguruan tinggi atau proyek

infrastruktur berskala besar di wilayah perkotaan. Padahal, penerapan AR di sekolah kejuruan memiliki nilai strategis untuk meningkatkan kualitas pembelajaran, memperkuat literasi teknologi siswa, serta mempersiapkan peserta didik untuk menghadapi tuntutan dunia industri yang kini sangat mengedepankan digitalisasi. Menurut Raharjo dan Dinata (2021)[3], media pembelajaran berbasis AR dapat menghadirkan visualisasi teknis yang mudah dipahami dan lebih menarik, sehingga dapat meningkatkan motivasi belajar serta memperkaya pengalaman siswa dalam memahami konsep konstruksi.

Berdasarkan kondisi tersebut, penelitian ini dilakukan untuk mengimplementasikan teknologi *Augmented Reality* (AR) sebagai media pembelajaran interaktif dalam visualisasi proyek infrastruktur jembatan. Melalui pemanfaatan AR, siswa diharapkan dapat belajar secara lebih aktif dan mendalam, memahami struktur jembatan dengan lebih jelas, serta mendapatkan pengalaman belajar yang lebih modern dan relevan dengan perkembangan teknologi industri saat ini. Selain itu, penggunaan AR dapat menjadi langkah inovatif dalam meningkatkan kualitas proses pembelajaran di sekolah kejuruan, sekaligus mendukung transformasi digital dalam pendidikan teknik di daerah. Dengan demikian, penelitian ini diharapkan mampu memberikan kontribusi nyata dalam peningkatan literasi digital, pemahaman teknis, dan kesiapan siswa SMK terhadap kebutuhan kompetensi di bidang konstruksi dan teknologi masa depan.

II. KAJIAN TERKAIT

Augmented Reality

Augmented Reality (AR) merupakan teknologi yang mengintegrasikan objek virtual tiga dimensi (3D) dengan lingkungan nyata sehingga mampu menyajikan visualisasi proyek infrastruktur secara interaktif melalui perangkat digital. Dibandingkan media konvensional, AR memberikan representasi visual yang lebih realistis sehingga memudahkan pengguna memahami bentuk, struktur, dan fungsi infrastruktur [1]. Berbagai penelitian menunjukkan bahwa penerapan AR efektif dalam mendukung visualisasi dan pembelajaran di bidang konstruksi. Arisandi et al. (2023)[4] membuktikan bahwa AR *markerless* mampu meningkatkan pemahaman terhadap desain pembangunan jalan, sedangkan Raharjo dan Dinata (2021)[3] menunjukkan bahwa AR dapat meningkatkan efektivitas pembelajaran konstruksi jembatan. Selain sebagai media visualisasi, AR juga berperan dalam meningkatkan transparansi informasi dan komunikasi publik melalui penyajian model 3D yang mudah dipahami [5]. Meskipun implementasinya masih menghadapi kendala, seperti kebutuhan sumber daya, perangkat pendukung, dan pemodelan 3D yang kompleks, AR memiliki potensi besar sebagai media inovatif untuk mendukung transformasi digital dalam visualisasi dan pembelajaran infrastruktur.

Unity

Unity merupakan *game engine* yang banyak digunakan dalam pengembangan aplikasi interaktif dan media

pembelajaran karena mendukung visualisasi 2D maupun 3D pada berbagai *platform*. Penelitian Nirwana dan Purwanto (2022)[6] menunjukkan bahwa *Unity* efektif meningkatkan minat belajar siswa melalui pengembangan game edukasi berbasis Android, sedangkan Bustaren et al. (2023)[7] membuktikan bahwa media pembelajaran berbasis *Unity* mampu meningkatkan pemahaman konsep siswa secara signifikan. Dengan demikian, *Unity* menjadi platform yang efektif dan fleksibel untuk mengembangkan media pembelajaran yang interaktif, visual, dan menarik.

Marker

Marker merupakan penanda visual yang digunakan sebagai acuan untuk mengenali posisi dan orientasi objek virtual sehingga dapat ditampilkan secara akurat pada lingkungan nyata. Bintoro et al. (2022)[8] menyatakan bahwa metode *marker-based tracking* memiliki tingkat akurasi yang tinggi dalam mendeteksi objek, sedangkan Agil dan Sitio (2022)[9] menjelaskan bahwa metode *markerless* menawarkan fleksibilitas lebih karena tidak memerlukan penanda fisik dan memungkinkan objek 3D ditampilkan langsung pada permukaan nyata melalui kamera perangkat.

Vuforia

Vuforia merupakan *Software Development Kit* (SDK) yang banyak digunakan dalam pengembangan aplikasi *Augmented Reality* (AR) karena memiliki kemampuan *image tracking* yang stabil dan akurat. *Vuforia* merupakan *Software Development Kit* (SDK) yang digunakan untuk mengembangkan aplikasi *Augmented Reality* (AR) dengan kemampuan mengenali dan melacak marker sehingga objek virtual dapat ditampilkan secara interaktif pada lingkungan nyata. Syahputra et al. (2024)[10] menyatakan bahwa integrasi *Vuforia* dengan *Unity* mempermudah pengembangan media pembelajaran berbasis AR karena menyediakan antarmuka yang mudah digunakan serta kemampuan pelacakan marker yang stabil. Oleh karena itu, *Vuforia* banyak dimanfaatkan dalam pengembangan aplikasi edukasi, promosi, dan visualisasi teknik pada berbagai platform.

Blender

Blender merupakan perangkat lunak *open source* yang digunakan untuk membuat dan mengolah objek tiga dimensi (3D) melalui fitur seperti *modeling*, *texturing*, *animasi*, dan *rendering*. Dalam pengembangan media pembelajaran berbasis *Augmented Reality* (AR), *Blender* banyak dimanfaatkan untuk membuat model 3D yang selanjutnya diintegrasikan dengan *Unity* dan *Vuforia*. Menurut Cahyani (2023)[11], *Blender* menjadi pilihan yang efisien karena bersifat gratis, fleksibel, serta mendukung berbagai format file 3D yang kompatibel dengan berbagai platform pengembangan.

Media Visualisasi

Media visualisasi merupakan sarana untuk menyajikan informasi dalam bentuk visual, seperti gambar, animasi, atau model tiga dimensi, sehingga memudahkan pengguna memahami objek, konsep, maupun data secara lebih jelas. Dalam bidang pendidikan, teknik, dan infrastruktur, media visualisasi berperan penting dalam meningkatkan pemahaman, analisis, serta komunikasi melalui penyajian representasi yang lebih nyata dan terstruktur. Dirgayusari et al. (2023)[12] menyatakan

bahwa visualisasi berbasis *Augmented Reality* mampu membantu pengguna memahami bentuk dan struktur bangunan secara lebih akurat dan interaktif, sehingga efektif digunakan sebagai media pendukung pembelajaran dan presentasi desain.

Proyek Infrastruktur

Proyek infrastruktur jembatan mencakup kegiatan perencanaan, pembangunan, dan pemeliharaan struktur penghubung yang berfungsi meningkatkan konektivitas, memperlancar mobilitas, serta mendukung distribusi barang dan jasa antarwilayah. Keberadaan jembatan berperan penting dalam meningkatkan aksesibilitas, menekan biaya transportasi, dan mendorong pertumbuhan ekonomi daerah. Pratama dan Khoirunurrofik (2023)[13] menyatakan bahwa peningkatan kualitas infrastruktur transportasi berkontribusi signifikan terhadap produktivitas, konektivitas, dan pembangunan ekonomi regional.

Struktur Jembatan

Struktur jembatan terdiri atas dua bagian utama, yaitu substructure dan superstructure, yang saling terintegrasi untuk menjamin kekuatan, kestabilan, dan keamanan konstruksi. *Substructure* meliputi pondasi, abutmen, dan pilar yang berfungsi menyalurkan beban ke tanah dasar, sedangkan *superstructure* terdiri atas rangka jembatan, gelagar, dan dek yang berperan menopang serta menyalurkan beban lalu lintas. Keseluruhan komponen tersebut dirancang untuk menahan beban mati, beban hidup, dan pengaruh lingkungan sehingga jembatan dapat berfungsi secara aman dan optimal.

Model Jembatan

Model jembatan merupakan representasi tiga dimensi dari struktur jembatan yang digunakan sebagai media visual untuk mendukung pembelajaran konstruksi. Model ini menampilkan komponen utama, seperti pondasi, abutmen, pilar, rangka atau gelagar, serta dek jembatan secara proporsional sehingga memudahkan siswa memahami hubungan dan fungsi setiap elemen. Dalam penelitian ini, model jembatan diintegrasikan dengan teknologi *Augmented Reality* (AR) sehingga dapat diamati secara interaktif dari berbagai sudut pandang melalui perangkat digital untuk meningkatkan pemahaman konseptual dan kemampuan visualisasi spasial siswa.

Jembatan

Jembatan merupakan infrastruktur transportasi yang berfungsi menghubungkan dua wilayah yang terpisah oleh hambatan alami maupun buatan, seperti sungai, lembah, atau jalan, sehingga mendukung mobilitas manusia, kendaraan, dan distribusi barang secara aman dan efisien. Secara struktural, jembatan terdiri atas bagian bawah (*substructure*) dan bagian atas (*superstructure*) yang bekerja secara terpadu untuk menopang serta menyalurkan beban. Keberadaan jembatan memiliki peran penting dalam meningkatkan konektivitas wilayah, memperlancar aktivitas ekonomi, dan memperluas akses terhadap layanan publik, sehingga perencanaan dan pembangunannya harus memperhatikan aspek teknis, keselamatan, fungsi, dan kondisi lingkungan.

SMKS Sanjaya

SMKS Sanjaya Bajawa merupakan sekolah menengah kejuruan di Kabupaten Ngada, Nusa Tenggara Timur,

yang berfokus pada pengembangan kompetensi peserta didik melalui pembelajaran berbasis teori dan praktik. Sekolah ini berupaya menghasilkan lulusan yang memiliki keterampilan teknis, profesional, dan siap menghadapi kebutuhan dunia kerja, khususnya pada bidang konstruksi dan teknik. Seiring perkembangan teknologi, SMKS Sanjaya Bajawa mulai mengadopsi media pembelajaran berbasis digital dan visual interaktif untuk meningkatkan efektivitas proses belajar serta pemahaman siswa terhadap materi pembelajaran.

Penelitian Terdahulu

Ghofar et al. (2025)[1] mengembangkan media pembelajaran berbasis *Augmented Reality* (AR) pada materi spesifikasi jembatan menggunakan metode *Research and Development* (R&D) dengan model ADDIE, serta memanfaatkan SketchUp Pro 2020 dan Unity sebagai platform pengembangan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa media yang dikembangkan memperoleh tingkat kelayakan sebesar 95,8% dan *usability* sebesar 89%, yang termasuk dalam kategori sangat layak. Temuan tersebut menunjukkan bahwa teknologi AR efektif meningkatkan minat belajar dan pemahaman siswa terhadap struktur jembatan melalui visualisasi tiga dimensi yang lebih interaktif dibandingkan media pembelajaran konvensional.

Hidayat et al. (2023)[4] mengembangkan aplikasi visualisasi pembangunan jalan berbasis *Augmented Reality* (AR) menggunakan metode *markerless*, *Unity*, dan *EasyAR* dengan pendekatan *Waterfall*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa aplikasi mampu menampilkan model tiga dimensi struktur perkerasan jalan secara interaktif melalui perangkat Android, sehingga memudahkan pengguna memahami konstruksi jalan tanpa bergantung pada gambar dua dimensi. Temuan tersebut menunjukkan bahwa teknologi AR efektif mendukung visualisasi proyek infrastruktur serta meningkatkan efisiensi dan akurasi dalam proses perencanaan pembangunan jalan.

Mau dan Belalawe (2025)[14] mengembangkan aplikasi *Augmented Reality* (AR) sebagai panduan ziarah rohani di Kabupaten Sikka menggunakan Unity dan *marker-based* AR. Aplikasi ini menyajikan visualisasi objek 3D, animasi, audio, dan navigasi lokasi secara interaktif untuk memberikan informasi sejarah dan nilai budaya kepada pengguna. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penerapan AR efektif meningkatkan pengalaman pengguna, mempermudah akses informasi, serta mendukung pelestarian budaya melalui penyajian informasi yang lebih menarik dibandingkan media konvensional.

Alfayet (2023)[15] mengembangkan aplikasi *Augmented Reality* (AR) sebagai media promosi wisata Waerebo dengan memanfaatkan Unity dan *marker-based* AR untuk menampilkan objek 3D serta animasi budaya secara interaktif. Aplikasi ini memberikan gambaran visual mengenai arsitektur Mbaru Niang dan unsur budaya lokal sehingga pengguna dapat memahami informasi wisata secara lebih nyata. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penerapan AR mampu meningkatkan daya tarik promosi wisata melalui penyajian informasi yang lebih

interaktif, menarik, dan mudah dipahami dibandingkan media konvensional.

Raharjo dan Dinata (2021)[3] mengembangkan media pembelajaran *Augmented Reality* (AR) untuk materi konstruksi jembatan pada siswa SMK menggunakan metode *Research and Development* (R&D) dengan pendekatan *Waterfall*. Aplikasi dikembangkan menggunakan Blender untuk pemodelan 3D dan Unity 3D dengan integrasi Vuforia SDK untuk menampilkan objek jembatan secara interaktif pada perangkat Android. Hasil pengujian menunjukkan tingkat kelayakan sebesar 84,6% dari ahli media dan 86,5% dari ahli materi, serta memperoleh respons positif dari siswa. Penelitian tersebut membuktikan bahwa AR mampu meningkatkan pemahaman siswa terhadap struktur jembatan melalui visualisasi tiga dimensi yang lebih menarik dan interaktif dibandingkan media konvensional.

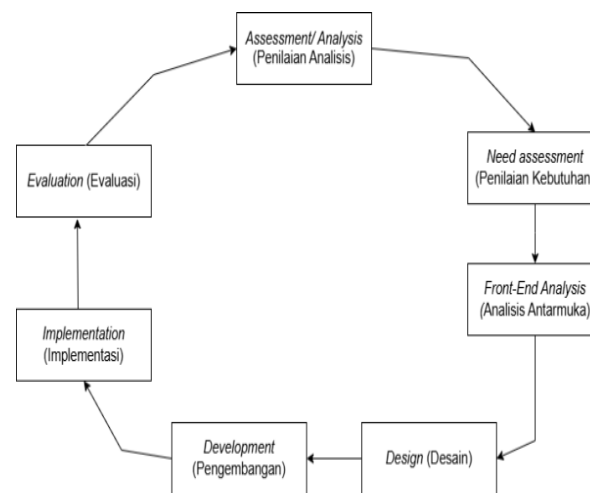
III. METODE PENELITIAN

Alat yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari perangkat keras (*hardware*) dan perangkat lunak (*software*) untuk mendukung pengembangan serta pengujian aplikasi *Augmented Reality* (AR). Perangkat keras yang digunakan yaitu laptop ASUS Vivobook 15 dengan prosesor intel core 5, RAM 8 GB, Windows 11 untuk proses perancangan dan pengembangan aplikasi, serta smartphone Oppo A12 dengan RAM 4 GB untuk pengujian pemindaian *marker* dan visualisasi objek 3D. Perangkat lunak yang digunakan meliputi Windows, Unity Hub, Vuforia SDK 11.4, Blender 5.1, Google Chrome, dan *marker* sebagai media pendukung pengembangan aplikasi AR.

Prosedur Penelitian

Pada prosedur penelitian ini, peneliti menggunakan model *Research and Development* (R&D) yang dikembangkan oleh Gary R. Lee dan Diana L. Owens (2000). Model ini dipilih karena memberikan langkah kerja yang jelas dan terstruktur, mulai dari analisis kebutuhan hingga evaluasi akhir produk. Pendekatan R&D ini sangat sesuai digunakan dalam penelitian ini karena mampu membantu peneliti mengembangkan aplikasi *Augmented Reality* (AR) yang benar-benar menjawab kebutuhan pengguna, terutama dalam visualisasi proyek infrastruktur jembatan sebagai media pembelajaran di SMKS Sanjaya Bajawa. Salah satu keunggulan model Lee & Owens adalah penekanannya pada keterlibatan pengguna dalam setiap tahap pengembangan. Karena itu, uji coba aplikasi dilakukan langsung pada siswa SMKS Sanjaya Bajawa, sehingga peneliti dapat memahami bagaimana aplikasi digunakan, sejauh mana siswa mampu menangkap informasi melalui AR, serta apakah media ini efektif dalam membantu mereka memahami desain dan infrastruktur. Dengan alur kerja yang sistematis mulai dari *Assessment/Analysis*, *Needs Assessment*, *Front-End Analysis*, *Design*, *Development*, *Implementation*, hingga *Evaluation*, model R&D Lee & Owens membantu peneliti menghasilkan aplikasi AR yang tidak hanya layak digunakan, tetapi juga bermanfaat, mudah diakses, dan sesuai dengan kebutuhan pembelajaran.

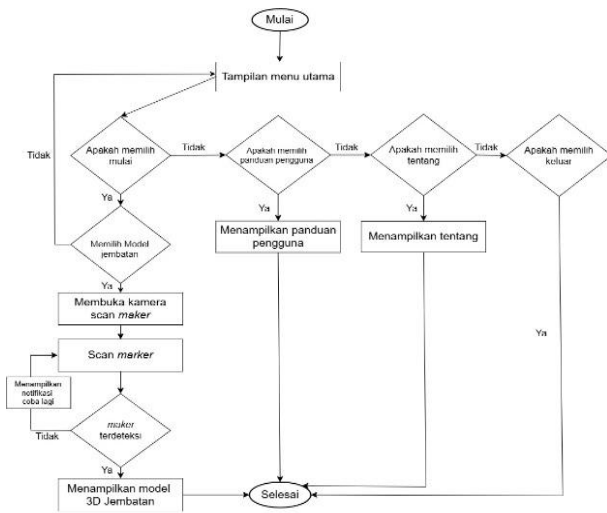
Subjek dalam penelitian ini adalah 10 siswa kelas XI jurusan Desain Pemodelan dan Informasi Bangunan (DPIB) di SMKS Sanjaya Bajawa. Pengumpulan data dilakukan melalui beberapa teknik, yaitu observasi, wawancara, dokumentasi, dan penyebaran kuesioner. Instrumen kuesioner menggunakan skala Likert empat tingkat yang terdiri atas kategori Sangat Baik, Baik, Cukup, dan Kurang. Selanjutnya, data yang terkumpul dianalisis menggunakan pendekatan deskriptif kuantitatif dengan menghitung persentase jawaban responden. Analisis tersebut bertujuan untuk mengetahui tingkat pemahaman siswa serta mengevaluasi efektivitas penerapan aplikasi *Augmented Reality* sebagai media pembelajaran pada jurusan DPIB di SMKS Sanjaya Bajawa.



Gambar 1. Model R&D

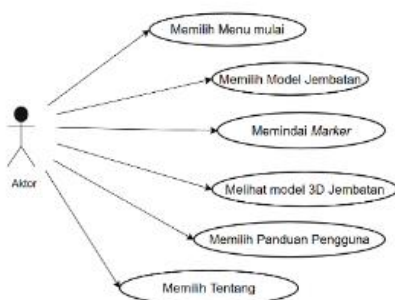
Perancangan Sistem

Flowchart aplikasi tersebut menggambarkan alur kerja aplikasi *Augmented Reality* mulai dari pengguna membuka aplikasi hingga proses visualisasi objek 3D jembatan. Setelah aplikasi dijalankan, pengguna diarahkan ke menu utama yang menyediakan empat pilihan, yaitu Mulai, Panduan Pengguna, Tentang, dan Keluar. Jika pengguna memilih menu Mulai, maka akan diarahkan ke halaman pemilihan jembatan, setelah itu jika pengguna memilih salah satu model jembatan maka aplikasi akan membuka kamera dan memulai proses pemindaian *marker*; apabila *marker* tidak terdeteksi, sistem menampilkan notifikasi untuk mencoba kembali, sedangkan jika *marker* berhasil terdeteksi, aplikasi langsung menampilkan model 3D jembatan. Apabila pengguna memilih menu Panduan Pengguna, aplikasi menampilkan informasi mengenai cara penggunaan aplikasi dan langkah pemindaian *marker*. Jika pengguna memilih menu Tentang, aplikasi menampilkan informasi mengenai aplikasi dan pengembangnya. Sementara itu, jika pengguna memilih Keluar, aplikasi langsung menghentikan proses dan menutup aplikasi. Seluruh pilihan pada menu utama akan membawa pengguna menuju titik akhir proses setelah masing-masing fungsi dijalankan.



Gambar 2. Flowchart Aplikasi

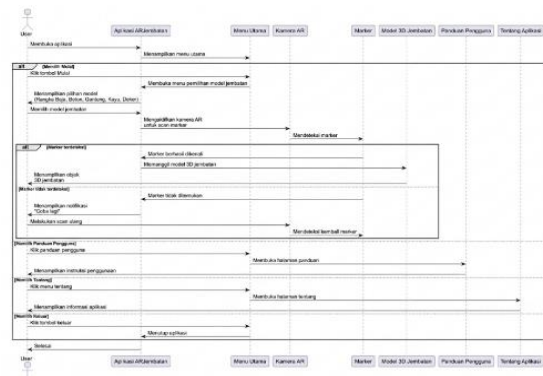
Usecase diagram aplikasi tersebut menggambarkan interaksi utama antara pengguna dan aplikasi *Augmented Reality* visualisasi jembatan. Dalam diagram tersebut, pengguna sebagai aktor dapat melakukan beberapa tindakan, yaitu memilih menu mulai sebagai langkah awal untuk mengakses seluruh fitur aplikasi, memilih model jembatan, setelah itu melakukan pemindaian *marker* untuk memicu proses *Augmented Reality*, serta melihat model 3D jembatan yang ditampilkan ketika *marker* berhasil terdeteksi. Selain itu, pengguna juga dapat memilih menu panduan pengguna untuk memperoleh informasi mengenai cara menggunakan aplikasi, serta memilih menu tentang untuk melihat informasi terkait aplikasi dan pengembangannya. Secara keseluruhan, diagram ini menunjukkan fungsi-fungsi inti yang dapat diakses langsung oleh pengguna sebagai bagian dari alur penggunaan aplikasi.



Gambar 3. Usecase Aplikasi

Sequence diagram pada gambar menggambarkan alur interaksi antara pengguna (*User*) dengan komponen utama dalam aplikasi ARJembatan, yaitu Aplikasi ARJembatan, Menu Utama, Kamera AR, *Marker*, Model 3D Jembatan, Panduan Pengguna, dan Tentang Aplikasi. Proses diawali ketika pengguna membuka aplikasi, kemudian sistem menampilkan menu utama sebagai pusat navigasi yang menyediakan beberapa pilihan fitur, yaitu Mulai, Panduan Pengguna, Tentang Aplikasi, dan Keluar. Ketika pengguna memilih menu Mulai, sistem akan menampilkan pilihan jenis model jembatan yang tersedia, kemudian pengguna memilih salah satu model sehingga aplikasi mengaktifkan

kamera AR untuk melakukan proses pemindaian *marker*. Kamera AR selanjutnya melakukan pendeteksian *marker*, apabila *marker* belum terdeteksi maka sistem akan menampilkan notifikasi kepada pengguna untuk melakukan pemindaian ulang, sedangkan apabila *marker* berhasil dikenali maka sistem akan memproses data tersebut dan memanggil model 3D jembatan untuk ditampilkan dalam lingkungan nyata melalui teknologi *Augmented Reality*. Selain fitur utama tersebut, pengguna juga dapat memilih menu Panduan Pengguna yang akan menampilkan informasi mengenai tata cara penggunaan aplikasi, serta menu Tentang Aplikasi yang menampilkan informasi terkait aplikasi ARJembatan dan pengembangannya. Pada tahap akhir, pengguna dapat memilih menu Keluar untuk menutup aplikasi. Secara keseluruhan, *sequence diagram* ini menunjukkan hubungan komunikasi yang terstruktur antara pengguna dan setiap komponen sistem dalam menjalankan proses utama aplikasi, mulai dari navigasi menu, pemindaian *marker*, hingga penyajian objek 3D jembatan secara interaktif.



Gambar 4. Sequence Diagram

Perancangan sistem menggambarkan alur kerja aplikasi *Augmented Reality* (AR) dalam menampilkan objek tiga dimensi (3D) jembatan. Proses dimulai ketika pengguna membuka aplikasi dan sistem menampilkan menu utama yang terdiri dari Mulai, Panduan Pengguna, Tentang, dan Keluar. Pada menu Mulai, pengguna memilih model jembatan kemudian sistem mengaktifkan kamera untuk melakukan pemindaian *marker*. Jika *marker* berhasil dikenali, aplikasi akan menampilkan model 3D jembatan secara interaktif yang dapat diamati dari berbagai sudut pandang. Apabila *marker* belum terdeteksi, sistem memberikan arahan untuk melakukan pemindaian ulang. Selain fitur utama, menu Panduan Pengguna menyediakan informasi penggunaan aplikasi, menu Tentang menampilkan informasi aplikasi, sedangkan menu Keluar digunakan untuk mengakhiri proses. Alur sistem dirancang secara terstruktur agar pengguna dapat mengakses fitur aplikasi dengan mudah dan memahami visualisasi struktur jembatan berbasis AR.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Implementasi Sistem

Pada tahap implementasi sistem, aplikasi ARJembatan diterapkan sebagai media pembelajaran interaktif di SMK Sanjaya Bajawa. Tahap ini dilakukan untuk

memastikan seluruh fitur aplikasi dapat berjalan dengan baik, mulai dari proses scan marker hingga penampilan objek 3D jembatan menggunakan teknologi *Augmented Reality* (AR).

Hasil implementasi menghasilkan file aplikasi utama bernama ARJembatan.apk yang dapat diinstal dan dijalankan pada perangkat berbasis Android. Aplikasi ini memuat seluruh komponen yang dibutuhkan untuk mendukung proses pembelajaran interaktif, mulai dari fitur *Augmented Reality*, model 3D jembatan, *marker*, hingga antarmuka pengguna yang dirancang untuk memudahkan siswa dalam memahami materi pembelajaran.

Halaman Splash Screen

Halaman *splash screen* atau halaman pembuka yang muncul saat aplikasi ARJembatan pertama kali dijalankan. Tampilan ini memperlihatkan logo aplikasi dengan desain latar belakang yang menarik sebagai identitas awal aplikasi, sehingga dapat memberikan kesan pertama yang baik dan meningkatkan ketertarikan pengguna sebelum memasuki menu utama aplikasi.



Gambar 5. Tampilan Splash Screen Aplikasi ARJembatan

Halaman Menu Utama

Halaman menu utama aplikasi ARJembatan yang menjadi pusat navigasi pengguna sebelum mengakses fitur-fitur aplikasi. Pada tampilan ini terdapat empat tombol utama, yaitu Mulai, Panduan Pengguna, Tentang, dan Keluar. Setiap tombol dirancang untuk memudahkan siswa dalam mengakses fitur aplikasi sesuai kebutuhan.



Gambar 6. Menu Utama

Menu Pemilihan Jembatan

Halaman pemilihan jenis jembatan pada aplikasi ARJembatan yang berfungsi sebagai media navigasi bagi siswa dalam menentukan objek jembatan yang akan dipelajari. Pada tampilan ini tersedia beberapa pilihan jenis jembatan, yaitu Rangka Baja, Beton, Gantung, Kayu, dan Dekker. Setiap jenis jembatan disajikan dalam

bentuk model 3D yang dirancang secara jelas dan interaktif, sehingga siswa dapat mengenali bentuk, struktur, serta karakteristik dari masing-masing jenis jembatan dengan lebih mudah. Tampilan ini mendukung proses pembelajaran dengan memberikan pengalaman visual yang lebih menarik dibandingkan penggunaan media pembelajaran konvensional.



Gambar 7. Menu Pemilihan Jembatan

Menu untuk Melihat Model Jembatan

Halaman ini menampilkan objek 3D jembatan secara keseluruhan. Pada halaman ini terdapat beberapa pilihan menu, yaitu *Bracket*, Pelat Pengaku Sambungan, Pelat Sambung, Kembali, dan Tutup.



Gambar 8. Tampilan 3D Jembatan dan Menu Detail persambungan

Halaman Detail Persambungan

Halaman ini menampilkan contoh tampilan kamera AR ketika mengklik tombol "Bracket". Pada layar terlihat objek 3D bracket muncul di atas marker secara real-time sehingga pengguna dapat melihat bentuk dan posisi komponen jembatan dengan lebih jelas. Tampilan ini juga dilengkapi dengan gambar rancangan dan ukuran bracket sebagai informasi tambahan untuk membantu siswa memahami detail struktur dan dimensi komponen jembatan. Pada bagian bawah terdapat juga pilihan menu, Pelat Pengaku Sambungan, dan Pelat Sambung yang dapat digunakan untuk menampilkan bagian jembatan lainnya. Selain itu, tersedia tombol "Kembali" di kiri atas dan tombol "Tutup" di kanan atas untuk memudahkan navigasi pengguna selama menggunakan aplikasi.



Gambar 9. Tampilan Detail Persambungan

Menu Panduan Pengguna

Halaman menu panduan pengguna yang berisi informasi dan petunjuk penggunaan aplikasi ARJembatan secara lengkap. Menu panduan dirancang untuk membantu pengguna memahami langkah-langkah penggunaan aplikasi, mulai dari proses scan marker hingga cara menampilkan objek 3D jembatan.



Gambar 10. Tampilan Panduan Pengguna

Menu Tentang

Halaman Tentang pada aplikasi ARJembatan yang memuat informasi mengenai latar belakang, tujuan, dan fungsi aplikasi sebagai media pembelajaran berbasis *Augmented Reality* (AR). Pada halaman ini dijelaskan bahwa aplikasi dikembangkan untuk membantu pengguna, khususnya siswa SMKS, dalam memahami bentuk, struktur, serta komponen jembatan secara lebih jelas dan interaktif melalui teknologi AR.



Gambar 11. Tampilan Tentang

Metode dan Hasil Pengujian

Pengujian aplikasi ARJembatan dilakukan menggunakan metode *Black Box Testing* dan *User Acceptance Testing* (UAT). Pengujian ini bertujuan untuk memastikan bahwa aplikasi yang dikembangkan telah berjalan sesuai dengan kebutuhan fungsional serta dapat digunakan dengan baik oleh siswa SMK sebagai media pembelajaran interaktif.

Table 9. Hasil Pengujian Fungsionalitas Aplikasi

No	Skenario Pengujian	Kasus Uji	Hasil yang Diharapkan	Hasil Pengujian	Kesimpulan
1	Intasiasi aplikasi	Menginstal Aplikasi ARJembatan.apk pada perangkat android	Aplikasi berhasil terinstal dan dapat digunakan	Sesuai harapan	Valid
2	Navigasi halaman awal	Klik tombol "Mulai"	Menampilkan halaman menu utama	Sesuai harapan	Valid
3	Navigasi menu utama	Klik tombol "Scan Marker"	Mengaktifkan kamera untuk mendeteksi marker	Sesuai harapan	Valid
4	Mendeteksi Marker	Mengarahkan Kamera ke marker	Model 3D muncul diatas marker	Sesuai harapan	Valid
5	Interaksi dengan model 3D	Menyentuh dan menggerakkan model 3D yang muncul	Memperbesar, memperkecil, dan memutar model	Sesuai harapan	Valid
6	Pemilihan Jenis Persambungan serta melihat detailnya	Klik tombol "Bracket"	Menampilkan Model 3D Bracket beserta detailnya	Sesuai harapan	Valid
7	Pemilihan Jenis Persambungan serta melihat detailnya	Klik tombol "Pelat Pengaku Sambungan"	Menampilkan Model 3D Pelat pengaku Sambungan beserta detailnya	Sesuai harapan	Valid
8	Pemilihan Jenis Persambungan serta melihat detailnya	Klik tombol "Pelat Sambung"	Menampilkan Model 3D pelat sambung beserta detailnya	Sesuai harapan	Valid
9	Navigasi kembali	Klik tombol "Kembali" Pada halaman model 3D jembatan	Kembali ke halaman menu utama	Sesuai harapan	Valid
10	Navigasi tutup	Klik tombol tutup "X" Pada halaman Bracket, Pelat Pengaku Sambungan, Pelat Sambung	Kembali ke model utama jembatan	Sesuai harapan	Valid
11	Keluar dari aplikasi	Klik tombol "Keluar"	Aplikasi tertutup	Sesuai harapan	Valid

Hasil pengujian fungsionalitas menunjukkan bahwa seluruh fitur pada aplikasi ARJembatan telah berfungsi dengan baik sesuai dengan tujuan pengembangan aplikasi. Setiap menu dan fitur dapat dijalankan dengan lancar, mulai dari halaman awal, menu utama, proses *scan marker*, hingga penampilan objek 3D jembatan dan detail komponennya.

Hasil Uji Coba dan Implementasi di SMKS Sanjaya Bajawa

Implementasi aplikasi *Augmented Reality* ARJembatan dilakukan pada siswa kelas XI SMKS Sanjaya Bajawa untuk mengevaluasi pemanfaatannya sebagai media pembelajaran interaktif dalam membantu memahami struktur dan bagian-bagian jembatan. Tahap implementasi meliputi koordinasi dengan pihak sekolah, persiapan perangkat Android dan *marker*, pengenalan aplikasi kepada guru, pelaksanaan pembelajaran menggunakan aplikasi AR, observasi interaksi siswa selama proses pembelajaran, serta penyebaran kuesioner untuk memperoleh tanggapan pengguna. Tahapan ini bertujuan menilai efektivitas, kemudahan penggunaan, dan penerimaan aplikasi sebagai media pembelajaran berbasis AR.



Gambar 12. Implementasi aplikasi dikelas XI SMKS Sanjaya Bajawa

Gambar ini menunjukkan suasana kegiatan pembelajaran saat aplikasi ARJembatan diterapkan kepada siswa kelas XI. Terlihat siswa mengikuti proses pembelajaran dengan antusias dalam menggunakan teknologi *Augmented Reality* (AR) untuk mempelajari bentuk, struktur, serta bagian-bagian jembatan secara lebih interaktif dan mudah dipahami.

Hasil Kuesioner Responden

Pengumpulan data dilakukan melalui kuesioner yang diberikan kepada 10 siswa kelas XI SMKS Sanjaya Bajawa untuk mengevaluasi penerimaan dan efektivitas aplikasi ARJembatan. Kuesioner menggunakan skala empat tingkat, yaitu Sangat Baik, Baik, Cukup, dan Kurang, yang terdiri atas 10 indikator penilaian meliputi tampilan aplikasi, kemudahan penggunaan, proses pemindaian *marker*, kejelasan objek 3D, fitur zoom dan rotasi, kemudahan memahami informasi, pemahaman terhadap struktur jembatan, performa aplikasi,

ketertarikan terhadap teknologi *Augmented Reality*, serta manfaat aplikasi sebagai media pembelajaran.

Tabel 10. Hasil Kuesioner Responden

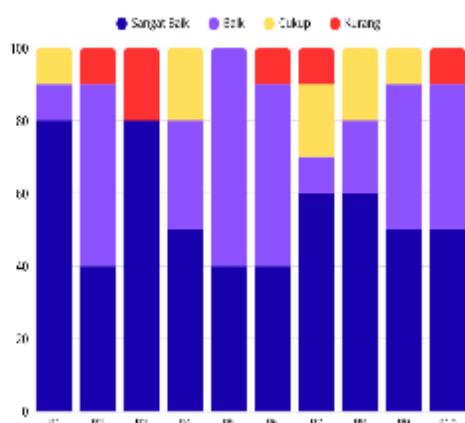
Pertanyaan	Sangat Baik	Baik	Cukup	Kurang	Total Responden
Tampilan aplikasi AR Jembatan menarik dan mudah dipahami	8	1	1	0	10
Menu-menu pada aplikasi mudah digunakan	4	5	0	1	10
Proses <i>scan marker</i> berjalan dengan baik	8	0	0	2	10
Objek 3D jembatan muncul dengan jelas saat <i>marker</i> dipindai	5	3	2	0	10
Fitur zoom dan rotasi objek 3D membantu melihat detail jembatan	4	6	0	0	10
Informasi yang diberikan pada aplikasi mudah dimengerti	4	5	0	1	10
Aplikasi membantu memahami struktur atau bagian jembatan	6	1	2	1	10
Performa aplikasi berjalan lancar tanpa banyak gangguan/error	6	2	2	0	10
Penggunaan teknologi <i>Augmented Reality</i> pada aplikasi ini menarik	5	4	1	0	10
Aplikasi bermanfaat sebagai media pembelajaran	5	4	0	1	10

Hasil kuesioner yang telah diperoleh, pada Gambar terlihat grafik persentase tanggapan responden terhadap setiap aspek penilaian aplikasi ARJembatan. Data tersebut menunjukkan bahwa mayoritas responden memberikan penilaian yang baik dan positif terhadap aplikasi ARJembatan.

Tabel 11. Persentase Penilaian Responden

No	Pertanyaan	Sangat Baik (%)	Baik (%)	Cukup (%)	Kurang (%)
1	Tampilan aplikasi AR Jembatan menarik dan mudah dipahami	80.0	10.0	10.0	0.0
2	Menu-menu pada aplikasi mudah digunakan	40.0	50.0	0.0	10.0
3	Proses <i>scan marker</i> berjalan dengan baik	80.0	0.0	0.0	20.0
4	Objek 3D jembatan muncul dengan jelas saat <i>marker</i> dipindai	50.0	30.0	20.0	0.0
5	Fitur zoom dan rotasi objek 3D membantu melihat detail jembatan	40.0	60.0	0.0	0.0
6	Informasi yang diberikan pada aplikasi mudah dimengerti	40.0	50.0	0.0	10.0
7	Aplikasi membantu memahami struktur atau bagian jembatan	60.0	10.0	20.0	10.0
8	Performa aplikasi berjalan lancar tanpa banyak gangguan/error	60.0	20.0	20.0	0.0
9	Penggunaan teknologi <i>Augmented Reality</i> pada aplikasi ini menarik	50.0	40.0	10.0	0.0
10	Aplikasi bermanfaat sebagai media pembelajaran	50.0	40.0	0.0	10.0

Grafik Presentase Respon Penilaian Aplikasi ARJembatan



Gambar 13. Grafik Presentase Respon Penilaian Aplikasi ARJembatan

Grafik dan hasil kuesioner menunjukkan bahwa aplikasi ARJembatan memperoleh respons positif dari 10 responden siswa kelas XI DPIB. Mayoritas responden memberikan penilaian “Sangat Baik” dan “Baik” pada hampir seluruh aspek penilaian. Aspek “Tampilan aplikasi AR Jembatan menarik dan mudah dipahami” memperoleh persentase “Sangat Baik” tertinggi sebesar 80%, sedangkan aspek “Proses scan marker berjalan dengan baik” memperoleh penilaian “Kurang” tertinggi sebesar 20%. Secara keseluruhan, hasil ini menunjukkan bahwa aplikasi ARJembatan dinilai menarik, mudah digunakan, serta bermanfaat sebagai media pembelajaran interaktif berbasis *Augmented Reality*.



Gambar 14. Memperkenalkan aplikasi ARJembatan kepada Siswa

Gambar tersebut menunjukkan proses pengenalan aplikasi ARJembatan kepada siswa melalui penyampaian materi singkat mengenai *Augmented Reality* serta demonstrasi cara penggunaan aplikasi. Kegiatan ini dilakukan agar siswa lebih mudah memahami fungsi, fitur, dan cara pengoperasian aplikasi sebagai media pembelajaran interaktif.



Gambar 15. Pemain sedang mengarahkan kamera ke marker

Gambar tersebut menunjukkan tampilan objek 3D jembatan yang muncul pada layar perangkat setelah proses pemindaian *marker* berhasil dilakukan. Melalui visualisasi tersebut, siswa dapat melihat bentuk dan struktur jembatan secara keseluruhan dengan lebih jelas sehingga membantu proses pemahaman materi pembelajaran.



Gambar 16. Siswa melihat detail persambungan pada aplikasi ARJembatan

Gambar tersebut menunjukkan siswa sedang mengamati detail persambungan pada model jembatan melalui aplikasi ARJembatan. Fitur visualisasi 3D pada aplikasi membantu siswa melihat bagian-bagian struktur jembatan secara lebih jelas dan rinci, sehingga materi pembelajaran menjadi lebih mudah dipahami.

Kelebihan dan Kekurangan Aplikasi

Berdasarkan hasil implementasi dan pengujian di SMKS Sanjaya Bajawa, aplikasi ARJembatan menunjukkan bahwa teknologi *Augmented Reality* dapat dimanfaatkan sebagai media pembelajaran yang efektif dalam membantu siswa memahami struktur dan bagian-bagian jembatan melalui visualisasi objek tiga dimensi (3D) yang interaktif. Mayoritas responden memberikan penilaian positif terhadap tampilan aplikasi, kemudahan penggunaan, proses pemindaian *marker*, kejelasan objek 3D, serta fitur *zoom* dan rotasi yang memudahkan pengamatan detail struktur jembatan. Selain itu, informasi yang disajikan dinilai mudah dipahami dan penggunaan teknologi AR mampu meningkatkan

ketertarikan serta pengalaman belajar siswa dibandingkan dengan media pembelajaran konvensional. Meskipun demikian, aplikasi masih memiliki beberapa keterbatasan, di antaranya proses pemindaian *marker* yang dipengaruhi oleh kondisi pencahayaan dan posisi kamera, performa aplikasi yang bergantung pada spesifikasi perangkat, serta fitur interaksi dan materi pembelajaran yang masih terbatas. Oleh karena itu, pengembangan lebih lanjut diperlukan untuk meningkatkan stabilitas sistem, memperkaya materi dan model jembatan, serta menambahkan fitur interaktif agar aplikasi dapat memberikan pengalaman belajar yang lebih optimal dan sesuai dengan kebutuhan pembelajaran di sekolah kejuruan.

V. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian, aplikasi ARJembatan berhasil dikembangkan sebagai media pembelajaran interaktif berbasis *Augmented Reality* untuk memvisualisasikan struktur dan detail persambungan jembatan pada siswa kelas XI DPIB SMKS Sanjaya Bajawa. Aplikasi yang dikembangkan menggunakan Unity 3D, Vuforia SDK, dan Blender mampu menampilkan objek jembatan tiga dimensi secara *real-time* melalui pemindaian *marker* serta menyediakan fitur zoom dan rotasi untuk mendukung pengamatan objek dari berbagai sudut. Hasil *Black Box Testing* menunjukkan bahwa fungsi utama aplikasi dapat berjalan sesuai dengan rancangan, sedangkan hasil *User Acceptance Testing* terhadap 10 responden menunjukkan respons positif, dengan 90% responden menyatakan aplikasi bermanfaat sebagai media pembelajaran, 90% menilai menu aplikasi mudah digunakan, dan 90% menyatakan penggunaan teknologi *Augmented Reality* menarik. Meskipun demikian, proses pemindaian *marker* masih memerlukan perhatian karena 20% responden memberikan penilaian “Kurang”, serta dalam implementasinya proses pemindaian dipengaruhi oleh kondisi pencahayaan dan posisi kamera. Dengan demikian, berdasarkan hasil pengujian dan penerimaan pengguna, ARJembatan dapat dimanfaatkan sebagai media pendukung pembelajaran konstruksi jembatan dalam konteks SMKS Sanjaya Bajawa. Penelitian selanjutnya disarankan melibatkan responden dan konteks sekolah yang lebih beragam serta melakukan pengujian efektivitas pembelajaran melalui *pretest-posttest* atau perbandingan dengan metode pembelajaran konvensional untuk memperoleh bukti empiris yang lebih kuat.

REFERENSI

- [1] S. Surakarta, “JIPTEK : Jurnal Ilmiah Pendidikan Teknik dan Kejuruan,” vol. 18, no. 2, pp. 306–314.
- [2] M. Pelajaran and U. Gedung, “Jurnal Pendidikan Teknik Bangunan,” vol. III, no. II, pp. 101–116, 2023.
- [3] N. E. Raharjo, “PENGEMBANGAN MEDIA PEMBELAJARAN AUGMENTED REALITY FOR BRIDGE PADA MATA PELAJARAN KONSTRUKSI JALAN DAN PENDAHULUAN” vol. III, no. 1.
- [4] D. Setiawan and D. Arisandi, “Aplikasi Visualisasi Pembangunan Jalan Baru Menggunakan Augmented Reality,” vol. 3, no. 1, 2023.
- [5] I. T. Sumatera, “PEMBUATAN AUGMENTED REALITY BERBASIS TITIK UNTUK Mendukung Building Information Modelling (BIM) Point Based Augmented Reality to Support Building Information Modelling (BIM),” vol. 1, no. 1, 2022.
- [6] N. C. Nirwana, A. Purwanto, J. S. Informasi, F. I. Komputer, and U. D. Ali, “Pengembangan Teknologi Game Indonesia ‘ Pramuka Asik ’ Menggunakan Unity 2d Engine Berbasis Android,” vol. 6, pp. 2103–2116, 2022.
- [7] B. Chairy, R. Bustaren, A. Hasanah, N. S. Putri, U. P. Indonesia, and P. Konsep, “PENGEMBANGAN DAN EVALUASI GAME EDUKASI BERBASIS ANDROID DENGAN UNITY 3D UNTUK MENINGKATKAN,” vol. 11, no. 3, pp. 131–143, 2024.
- [8] B. Arifitama, A. Syahputra, K. Bayu, and Y. Bintoro, “Analisis Perbandingan Efektifitas Metode Marker dan Markerless Tracking pada Objek Augmented Reality,” vol. 14, no. 1, pp. 1–7, 2022.
- [9] M. Agil, S. Lina, and M. Sitio, “IMPLEMENTASI METODE MARKERLESS AUGMENTED REALITY UNTUK EDUKASI NAMA BUAH-BUAHAN BERBASIS ANDROID,” vol. 14, no. 2, pp. 105–115, 2022.
- [10] F. Syahputra, T. Naufal, E. Haqnizo, and W. Ramadhi, “Penggunaan Teknologi Augmented Reality pada Aplikasi Bangun Ruang Sederhana Berbasis Unity dan Vuforia Engine,” vol. 2, no. 4, 2024.
- [11] A. Cahyani, “Blender : Solusi Open-Source untuk Pembuatan dan Pengembangan 3D Annisa Cahyani”.
- [12] J. Konstruksi, “PEMBUATAN AUGMENTED REALITY SEBAGAI,” vol. 6, no. 1, pp. 159–168, 2024.
- [13] D. Pratama, “PRODUKTIVITAS TENAGA KERJA INDUSTRI MANUFAKTUR DI INDONESIA THE IMPACT OF TRANSPORTATION INFRASTRUCTURE ON MANUFACTURING INDUSTRY LABOR PRODUCTIVITY IN,” vol. 31, no. 1, 2023, doi: 10.55981/jep.2023.1097.
- [14] M. A. Mau and B. J. Belalawe, “Aplikasi Augmented Reality untuk Panduan Ziarah Rohani di Kabupaten Sikka,” vol. 5, no. 2, pp. 183–198, 2025.
- [15] P. W. Waerebo, “Program Studi Teknik Informatika ,” vol. 14, no. c, pp. 48–58, 2023.