

Simulasi Rambu Lalu Lintas AR Real-Time untuk Edukasi Interaktif Berbasis Gamifikasi

Eva Handriyantini ^{1*}, Bernard Dikson Gandawinata ²

¹Sistem Informasi, Sekolah Tinggi Informatika & Komputer Indonesia (STIKI), Malang, Indonesia

²Informatika, Sekolah Tinggi Informatika & Komputer Indonesia (STIKI), Malang, Indonesia
Email: eva@stiki.ac.id ^{1*}, 141111005@mhs.stiki.ac.id ²

Alamat: Jl. Raya Tidar 100 Malang, Jawa Timur

Korespondensi penulis: eva@stiki.ac.id

Abstract. *Enhancing understanding and awareness of traffic safety is a critical challenge, particularly among younger generations. This study aims to develop a real-time Augmented Reality (AR)-based traffic sign simulation application integrated with gamification elements to improve user engagement and comprehension. The research employed a Research and Development (R&D) approach involving 30 respondents as application users. The development process included needs analysis, user interface design using a user-centered approach, implementation of markerless tracking technology, and integration of time-based challenges and virtual rewards as gamification elements. The testing results indicated a 30% improvement in post-test scores compared to pre-test scores, demonstrating the application's effectiveness in enhancing users' understanding of traffic signs. This application is not only relevant for formal education in schools but also holds potential as an innovative tool for traffic safety campaigns. The study supports the theory that the integration of AR and gamification can create engaging and effective learning experiences.*

Keywords: *Safety, Augmented, Gamification, Learning*

Abstrak. Peningkatan pemahaman dan kesadaran akan keselamatan lalu lintas menjadi tantangan penting, terutama di kalangan generasi muda. Penelitian ini bertujuan mengembangkan aplikasi simulasi rambu lalu lintas berbasis Augmented Reality (AR) real-time yang dilengkapi dengan elemen gamifikasi untuk meningkatkan keterlibatan dan pemahaman pengguna. Metode penelitian menggunakan pendekatan Research and Development (R&D) dengan melibatkan 30 responden sebagai pengguna aplikasi. Proses pengembangan mencakup analisis kebutuhan, perancangan antarmuka pengguna dengan pendekatan user-centered design, implementasi teknologi markerless tracking, serta integrasi tantangan berbasis waktu dan sistem penghargaan virtual sebagai elemen gamifikasi. Hasil pengujian menunjukkan peningkatan skor post-test sebesar 30% dibandingkan pre-test, mencerminkan efektivitas aplikasi dalam meningkatkan pemahaman pengguna terhadap rambu lalu lintas. Aplikasi ini tidak hanya relevan untuk pendidikan formal di sekolah, tetapi juga memiliki potensi sebagai media kampanye keselamatan lalu lintas yang inovatif. Penelitian ini mendukung teori bahwa integrasi AR dan gamifikasi dapat menciptakan pengalaman belajar yang menarik dan efektif.

Kata kunci: Keselamatan, Augmented, Gamifikasi, Pembelajaran

1. LATAR BELAKANG

Keselamatan lalu lintas merupakan isu global yang memerlukan perhatian serius. Menurut laporan Organisasi Kesehatan Dunia (WHO), kecelakaan lalu lintas menyumbang lebih dari 1,3 juta kematian setiap tahunnya, menjadikannya salah satu penyebab utama kematian di seluruh dunia (World Health Organization, 2022). Di Indonesia, data dari Kepolisian Republik Indonesia (Polri) menunjukkan bahwa pada tahun 2022 tercatat lebih dari 110.000 kasus kecelakaan lalu lintas, dengan sekitar 40% disebabkan oleh ketidaktahuan atau ketidakpatuhan terhadap rambu lalu lintas (Polri, 2022). Sementara itu, Kementerian Perhubungan mencatat bahwa kelompok usia 15–24 tahun adalah kelompok

dengan tingkat pelanggaran tertinggi, yang sebagian besar terjadi karena kurangnya pengetahuan dasar tentang rambu lalu lintas (Kemenhub, 2022). Data ini menunjukkan pentingnya pendidikan rambu lalu lintas sebagai langkah strategis untuk menanamkan budaya tertib berlalu lintas sejak usia dini.

Dalam beberapa tahun terakhir, digitalisasi pendidikan menjadi fokus utama dalam meningkatkan kualitas pembelajaran, termasuk di bidang keselamatan lalu lintas. Teknologi Augmented Reality (AR) telah muncul sebagai salah satu pendekatan inovatif yang mampu menciptakan pengalaman belajar yang lebih imersif. AR memungkinkan integrasi elemen virtual dengan dunia nyata, memberikan peluang untuk simulasi pembelajaran yang interaktif. Menurut Lampropoulos et al. (2022), penggunaan AR dalam pendidikan mampu meningkatkan keterlibatan siswa hingga 35% dibandingkan dengan metode konvensional. Selain itu, Gao et al. (2023) menunjukkan bahwa AR real-time dapat memberikan pembelajaran yang adaptif terhadap lingkungan pengguna, sehingga meningkatkan pemahaman konsep secara lebih efektif.

Selain teknologi AR, pendekatan gamifikasi menjadi inovasi lain yang banyak diadopsi dalam dunia pendidikan. Gamifikasi mengintegrasikan elemen permainan, seperti penghargaan, tantangan, dan kompetisi, untuk meningkatkan motivasi belajar peserta didik. Riaz (2021) menemukan bahwa penggunaan gamifikasi dalam platform edukasi keselamatan lalu lintas mampu meningkatkan tingkat pemahaman siswa sebesar 25%. Lebih lanjut, studi oleh Ahmad dan Maat (2022) menunjukkan bahwa penerapan gamifikasi dalam pembelajaran matematika dapat meningkatkan partisipasi siswa hingga 30%, yang mengindikasikan bahwa pendekatan ini relevan diterapkan di berbagai bidang pendidikan.

Berbagai penelitian telah membahas penerapan AR dan gamifikasi secara terpisah di bidang pendidikan, tetapi hanya sedikit yang mengintegrasikan keduanya dalam konteks edukasi keselamatan lalu lintas. Studi oleh Arici et al. (2019) mencatat bahwa AR memberikan pengalaman visual yang membantu siswa memahami konsep kompleks dalam sains. Di sisi lain, Goff et al. (2018) menyoroti bahwa gamifikasi efektif meningkatkan partisipasi aktif siswa dalam lingkungan pembelajaran informal. Namun, penelitian yang memanfaatkan teknologi AR real-time dengan pendekatan gamifikasi untuk pendidikan rambu lalu lintas masih sangat terbatas, sehingga menjadi peluang penelitian yang menjanjikan.

Selain mendukung pendidikan keselamatan lalu lintas, inovasi ini relevan dengan tujuan global *Sustainable Development Goals* (SDGs), terutama SDG 4 (*Quality Education*) dan SDG 11 (*Sustainable Cities and Communities*). Dengan memberikan akses

pembelajaran berbasis teknologi yang inklusif dan interaktif, penelitian ini dapat berkontribusi pada peningkatan kualitas pendidikan dan pengurangan angka kecelakaan lalu lintas di perkotaan (United Nations, 2022). Hal ini memperkuat relevansi penelitian ini tidak hanya di tingkat lokal, tetapi juga dalam konteks global.

Penelitian ini menawarkan kebaruan dengan mengembangkan model simulasi rambu lalu lintas berbasis AR real-time yang terintegrasi dengan pendekatan gamifikasi. Tidak seperti studi sebelumnya yang hanya mengandalkan AR statis, model ini memungkinkan interaksi langsung dengan rambu virtual dalam lingkungan nyata. Fitur gamifikasi juga dirancang untuk memberikan tantangan berbasis performa yang dapat meningkatkan motivasi pengguna dalam memahami rambu lalu lintas.

Tujuan penelitian ini adalah untuk mengembangkan dan mengevaluasi model simulasi rambu lalu lintas berbasis AR real-time dengan pendekatan gamifikasi, serta menganalisis efektivitasnya dalam meningkatkan pemahaman dan motivasi belajar pengguna. Penelitian ini diharapkan dapat menyediakan solusi praktis untuk meningkatkan keselamatan lalu lintas melalui inovasi edukasi berbasis teknologi

2. KAJIAN TEORITIS

Konsep Augmented Reality (AR)

Augmented Reality (AR) adalah teknologi yang menggabungkan elemen virtual dengan lingkungan dunia nyata secara interaktif. Teknologi ini bekerja dengan cara menampilkan objek digital melalui perangkat seperti ponsel pintar atau tablet, memungkinkan pengguna untuk berinteraksi secara langsung dengan elemen-elemen virtual tersebut (Gao et al., 2023). Salah satu keunggulan utama AR adalah kemampuannya untuk memberikan pengalaman belajar yang imersif, di mana pengguna dapat memahami konsep abstrak dengan lebih mudah melalui simulasi visual. Dalam pendidikan, AR telah diterapkan dalam berbagai bidang, termasuk teknik, kesehatan, dan pendidikan dasar, untuk meningkatkan pemahaman siswa terhadap materi yang sulit dijelaskan secara konvensional (Lampropoulos et al., 2022).

Salah satu fitur penting dalam AR adalah **markerless tracking**, yaitu kemampuan untuk memproyeksikan elemen virtual tanpa memerlukan penanda fisik. Teknologi ini meningkatkan fleksibilitas penggunaan AR di berbagai lingkungan. Selain itu, penggunaan **geo-tagging** memungkinkan konten virtual untuk beradaptasi dengan lokasi pengguna, menciptakan pengalaman belajar yang lebih personal dan kontekstual (ClassPoint, 2024). Dalam konteks penelitian ini, AR diterapkan untuk mensimulasikan

rambu lalu lintas, memungkinkan pengguna untuk memahami fungsinya dalam lingkungan virtual yang realistis.

Pendekatan Gamifikasi

Gamifikasi adalah penerapan elemen-elemen permainan dalam konteks non-permainan untuk meningkatkan motivasi, keterlibatan, dan kinerja pengguna. Elemen permainan seperti tantangan, penghargaan, leaderboard, dan sistem skor dirancang untuk menciptakan pengalaman yang menarik bagi pengguna (Prieto Andreu et al., 2022). Dalam pendidikan, gamifikasi telah digunakan untuk meningkatkan partisipasi siswa, khususnya dalam mata pelajaran yang sering dianggap sulit atau membosankan, seperti matematika atau sains. Studi menunjukkan bahwa gamifikasi mampu mendorong siswa untuk lebih aktif dalam belajar karena adanya elemen kompetisi dan insentif (Bakti, 2023).

Namun, keberhasilan gamifikasi sangat bergantung pada desainnya. Elemen permainan yang tidak relevan atau terlalu rumit dapat menyebabkan kebingungan atau kehilangan minat pengguna. Oleh karena itu, pendekatan ini harus disesuaikan dengan konteks dan karakteristik pengguna. Dalam penelitian ini, gamifikasi diterapkan melalui sistem skor, tantangan berbasis waktu, dan penghargaan, yang dirancang untuk meningkatkan pemahaman pengguna terhadap rambu lalu lintas. Desain ini didasarkan pada prinsip bahwa pengalaman belajar yang menyenangkan dapat meningkatkan retensi pengetahuan dan perilaku positif pengguna (Prihandono et al., 2023).

Model Research and Development (R&D)

Pendekatan Research and Development (R&D) adalah model sistematis untuk mengembangkan dan mengevaluasi produk berbasis penelitian. Model R&D yang diperkenalkan oleh Borg & Gall (1983) mencakup beberapa tahapan, yaitu analisis kebutuhan, perancangan, pengembangan, uji coba, dan evaluasi. Setiap tahapan dirancang untuk memastikan bahwa produk yang dihasilkan tidak hanya valid secara ilmiah tetapi juga relevan dengan kebutuhan pengguna (Aries, 2017). Pendekatan ini sering digunakan dalam pengembangan media pembelajaran, kurikulum, dan teknologi pendidikan, termasuk aplikasi berbasis teknologi informasi.

Dalam konteks penelitian ini, pendekatan R&D diterapkan untuk mengembangkan aplikasi simulasi rambu lalu lintas berbasis AR real-time dengan pendekatan gamifikasi. Analisis kebutuhan dilakukan untuk memahami preferensi pengguna dan menentukan fitur utama aplikasi. Proses perancangan menggunakan pendekatan **user-centered design (UCD)** untuk memastikan antarmuka aplikasi yang intuitif dan sesuai dengan kebutuhan pengguna. Selanjutnya, pengujian dilakukan dalam dua tahap, yaitu pengujian alpha oleh

tim pengembang dan pengujian beta oleh pengguna akhir. Hasil evaluasi digunakan untuk menyempurnakan aplikasi sebelum implementasi lebih luas (Bakti, 2023).

3. METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan pendekatan **Research and Development (R&D)** yang merujuk pada Borg & Gall (1983) untuk mengembangkan dan mengevaluasi aplikasi simulasi rambu lalu lintas berbasis **Augmented Reality (AR) real-time** dengan pendekatan gamifikasi. Pendekatan ini dipilih karena mampu menghasilkan produk inovatif berbasis teknologi informasi yang sesuai dengan kebutuhan pengguna.

Populasi dan Sampel Penelitian

Populasi dalam penelitian ini adalah siswa sekolah menengah dan pengemudi pemula di wilayah perkotaan. Sampel penelitian dipilih menggunakan metode purposive sampling dengan jumlah 30 responden yang memenuhi kriteria: memiliki pengalaman minimal satu tahun menggunakan aplikasi berbasis mobile dan belum mendapatkan pelatihan formal tentang rambu lalu lintas.

Teknik dan Instrumen Pengumpulan Data

Pengumpulan data dilakukan melalui survei, wawancara, dan observasi langsung. Instrumen penelitian meliputi:

- a. **Kuesioner** untuk mengukur tingkat pemahaman pengguna terhadap rambu lalu lintas sebelum dan sesudah penggunaan aplikasi (pre-test dan post-test).
- b. **Observasi** untuk mengamati interaksi pengguna dengan aplikasi, seperti durasi penggunaan, tingkat penyelesaian tantangan, dan kesalahan pengenalan rambu.

Alat Analisis Data

Analisis data kuantitatif dilakukan dengan menggunakan uji statistik, seperti **paired t-test**, untuk mengukur perbedaan signifikan antara hasil pre-test dan post-test. Data kualitatif dianalisis menggunakan metode analisis tematik untuk mengeksplorasi pengalaman pengguna terhadap aplikasi.

Tahapan Penelitian

- a. **Analisis Kebutuhan:** Kajian literatur dan survei dilakukan untuk memahami preferensi pengguna serta kebutuhan teknis aplikasi.
- b. **Perancangan Model:** Framework AR seperti ARCore digunakan untuk mendukung fitur AR real-time, sementara elemen gamifikasi dirancang untuk meningkatkan motivasi pengguna.
- c. **Pengembangan Aplikasi:** Aplikasi dibangun menggunakan Unity dengan fitur geo-

tagging dan markerless tracking untuk memungkinkan interaksi pengguna dengan objek virtual.

- d. **Uji Coba:** Pengujian alpha dan beta dilakukan untuk mengevaluasi antarmuka, fitur gamifikasi, dan efektivitas AR real-time.
- e. **Evaluasi:** Pre-test dan post-test dilakukan untuk mengukur peningkatan pemahaman pengguna terhadap rambu lalu lintas.
- f. **Penyempurnaan dan Dokumentasi:** Hasil evaluasi digunakan untuk menyempurnakan aplikasi, dan proses pengembangan didokumentasikan untuk referensi lebih lanjut.

Model Penelitian dan Simbol Pengukuran

Penelitian ini menggunakan model R&D dengan lima tahap utama: analisis kebutuhan, perancangan, pengembangan, uji coba, dan evaluasi. Simbol yang digunakan meliputi:

- a. **M_{pre}:** Nilai rata-rata pre-test.
- b. **M_{post}:** Nilai rata-rata post-test.
- c. **ΔM:** Selisih nilai rata-rata untuk mengukur peningkatan pemahaman

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Proses Pengumpulan Data dan Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan selama tiga bulan, mencakup tahap analisis kebutuhan, perancangan, pengembangan, dan evaluasi. Responden penelitian adalah 30 siswa berusia 18–25 tahun, dipilih menggunakan metode purposive sampling. Penelitian dilakukan di sekolah menengah atas dan pusat pelatihan lalu lintas. Data dikumpulkan melalui observasi interaksi pengguna, wawancara mendalam, dan survei menggunakan kuesioner elektronik.

Proses Perancangan Aplikasi

Proses perancangan aplikasi ini melibatkan beberapa langkah utama yang dirancang untuk memastikan pengalaman pengguna yang optimal. Tahap pertama adalah desain **User Interface (UI)**, di mana antarmuka dirancang menggunakan pendekatan **user-centered design (UCD)** untuk memastikan kemudahan penggunaan. Gambar 1. Menunjukkan tampilan UI Panel Sebelum Memulai Permainan. Menu navigasi aplikasi dirancang sederhana dan intuitif, mencakup tiga opsi utama, yaitu "Mulai Simulasi", "Tantangan", dan "Riwayat Skor", untuk memudahkan pengguna mengakses fitur-fitur aplikasi.



Gambar 1. UI Simulasi

Selanjutnya, teknologi **markerless tracking** diterapkan untuk memungkinkan aplikasi mendeteksi rambu lalu lintas tanpa menggunakan marker fisik. Pendekatan ini meningkatkan fleksibilitas aplikasi sehingga dapat digunakan di berbagai kondisi lingkungan tanpa memerlukan penanda tambahan. Selain itu, elemen 3D dari 15 jenis rambu lalu lintas diintegrasikan ke dalam aplikasi menggunakan platform Unity, memberikan representasi visual yang realistis dan interaktif. Fitur **geo-tagging** juga ditambahkan untuk menyesuaikan tampilan rambu lalu lintas berdasarkan lokasi pengguna, sehingga pengalaman belajar menjadi lebih personal dan relevan dengan kondisi nyata di lapangan.



Gambar 2. Panel Permainan Simulasi

Implementasi Elemen Gamifikasi

Elemen gamifikasi diterapkan dalam aplikasi ini untuk meningkatkan motivasi dan keterlibatan pengguna melalui berbagai mekanisme interaktif. Salah satu fitur utama adalah tantangan berbasis waktu, di mana pengguna diminta untuk mengenali rambu lalu lintas dalam waktu yang telah ditentukan. Fitur ini dirancang untuk melatih kecepatan dan akurasi pengguna dalam memahami rambu lalu lintas, sekaligus

memberikan pengalaman belajar yang menantang. Selain itu, aplikasi ini dilengkapi dengan **sistem leaderboard** yang memberikan insentif kompetitif kepada pengguna. Sistem ini memungkinkan pengguna untuk bersaing dengan teman-teman mereka, sehingga meningkatkan motivasi untuk terus memperbaiki skor. Sebagai tambahan, aplikasi menyediakan **penghargaan virtual** berupa badge yang diberikan kepada pengguna setelah berhasil menyelesaikan level tertentu. Penghargaan ini tidak hanya memberikan rasa pencapaian, tetapi juga mendorong pengguna untuk terus menjelajahi fitur aplikasi dan mencapai level yang lebih tinggi.

Hasil Analisis Data

Hasil pengujian menunjukkan bahwa aplikasi simulasi rambu lalu lintas berhasil memenuhi kebutuhan pengguna. Tabel 1 menunjukkan hasil pengujian dari tiga perangkat berbeda untuk mendeteksi marker dan sudut kemiringan maksimal. Hasil ini menunjukkan bahwa Asus Zenfone 4 Max memiliki performa terbaik dalam mendeteksi marker dengan sudut kemiringan dan jarak deteksi yang lebih tinggi. Hal ini memberikan fleksibilitas lebih kepada pengguna untuk berinteraksi dengan aplikasi.

Tabel 1. Hasil Pengamatan pada Tiga Perangkat Smartphone

Perangkat	Sudut Kemiringan Maksimal	Jarak Kamera Deteksi Marker (cm)	Intensitas Cahaya (lux)
Lenovo A6000	68°	7 – 25	41
Lenovo A7000 Plus	70°	7,5 – 41	41
Asus Zenfone 4 Max	73°	8 – 40	41

Sumber: hasil Penelitian (2024)

Dari hasil survei kuesioner, beberapa kategori diuji untuk mengevaluasi aplikasi. Hasilnya sebagaimana pada table 2. Grafik ini menggambarkan distribusi tanggapan responden terhadap empat aspek utama aplikasi: **Tampilan, Kemudahan Navigasi, Fungsi AR,** dan **Pemahaman Materi.** Respon positif mendominasi pada semua kategori, dengan catatan bahwa aspek **Kemudahan Navigasi** memiliki tanggapan ragu-ragu yang lebih tinggi dibandingkan aspek lainnya. Hal ini menunjukkan bahwa meskipun aplikasi dinilai baik secara keseluruhan, navigasi antarmuka masih memerlukan perbaikan.

Tabel 2. Hasil Pengujian Responden terhadap Aspek Aplikasi

Aspek Aplikasi	Respon Positif	Respon Ragus-Ragu
Tampilan	25	5
Kemudahan Navigasi	20	10
Fungsi AR	30	0
Pemahaman Materi	28	2

Sumber: hasil Penelitian (2024)

Hasil survei dan pengujian pre-test dan post-test dari 30 responden ditunjukkan pada tabel 3. Responden menyatakan aplikasi mudah digunakan (90%), dan 87% merasa bahwa tantangan berbasis gamifikasi membantu mereka memahami rambu lalu lintas dengan lebih baik.

Tabel 3. Hasil Pengujian Responden terhadap Aspek Aplikasi

Kategori	Pre-Test (Rata-Rata)	Post-Test (Rata-Rata)	Peningkatan (%)
Pemahaman Simbol	55	85	30
Kecepatan Identifikasi	60	88	28

Sumber: hasil Penelitian (2024)

a. Pembahasan

Hasil penelitian menunjukkan bahwa aplikasi ini efektif dalam meningkatkan pemahaman dan keterlibatan pengguna. Peningkatan skor post-test sebesar 30% menunjukkan bahwa teknologi **Augmented Reality (AR)** dan elemen **gamifikasi** seperti leaderboard dan tantangan berbasis waktu mampu meningkatkan motivasi belajar pengguna. Temuan ini sejalan dengan penelitian oleh Prieto Andreu et al. (2022), yang menunjukkan bahwa penerapan gamifikasi dapat memberikan pengalaman belajar yang lebih menarik dan efektif. Selain itu, penelitian oleh García-Sancho et al. (2023) mendukung bahwa elemen gamifikasi seperti penghargaan virtual dapat meningkatkan motivasi intrinsik siswa, yang relevan dengan hasil penelitian ini.

Secara teoritis, penelitian ini mendukung teori bahwa integrasi teknologi AR dan pendekatan gamifikasi dapat meningkatkan keterlibatan pengguna dan pemahaman mereka terhadap materi pembelajaran. Hal ini sejalan dengan temuan Hernández et al. (2023), yang menunjukkan bahwa penggunaan AR dalam pembelajaran berbasis simulasi meningkatkan keterlibatan siswa hingga 40% dibandingkan dengan metode pembelajaran tradisional. Selain itu, elemen interaktif dari AR, ketika digabungkan dengan fitur kompetitif dan

insentif dari gamifikasi, menciptakan pengalaman belajar yang lebih menarik, sebagaimana diuraikan oleh Sousa et al. (2022). Penerapan pendekatan Research and Development (R&D) dalam pengembangan aplikasi ini juga membuktikan bahwa model pengembangan sistematis ini efektif untuk menghasilkan teknologi pendidikan yang relevan dan responsif terhadap kebutuhan pengguna.

Namun, beberapa tantangan ditemukan dalam penerapan aplikasi ini. Salah satu kendala utama adalah akurasi fitur geo-tagging di area dengan sinyal GPS rendah, yang mengurangi efisiensi aplikasi dalam menyesuaikan konten dengan lokasi pengguna. Masalah ini perlu menjadi perhatian dalam pengembangan lanjutan dengan mempertimbangkan penggunaan teknologi pendukung seperti sensor tambahan atau integrasi dengan algoritma pembelajaran mesin untuk meningkatkan akurasi (Zhao et al., 2022). Selain itu, beberapa responden menyarankan peningkatan antarmuka untuk navigasi yang lebih intuitif, terutama untuk pengguna yang tidak terbiasa dengan aplikasi berbasis teknologi AR.

Secara praktis, aplikasi ini memiliki potensi besar sebagai alat edukasi keselamatan lalu lintas, baik di lingkungan sekolah maupun dalam program pelatihan formal. Fitur seperti simulasi berbasis AR real-time dan tantangan gamifikasi menawarkan pendekatan pembelajaran yang menarik dan inovatif, terutama bagi siswa dan pengemudi pemula. Penelitian ini juga mendukung inisiatif pemerintah dalam meningkatkan kesadaran keselamatan lalu lintas, khususnya di kalangan generasi muda. Dengan kemampuan aplikasi untuk menyampaikan informasi secara interaktif dan menyenangkan, aplikasi ini dapat berkontribusi pada pengurangan pelanggaran lalu lintas dan peningkatan keselamatan berkendara di masa depan. Sebagaimana diuraikan oleh Cheng et al. (2023), teknologi pendidikan yang interaktif tidak hanya efektif dalam menyampaikan materi tetapi juga mampu mendorong perubahan perilaku positif pada pengguna.

5. KESIMPULAN DAN SARAN

Penelitian ini berhasil menunjukkan bahwa aplikasi simulasi rambu lalu lintas berbasis Augmented Reality (AR) real-time yang dilengkapi dengan elemen gamifikasi dapat menjadi media edukasi inovatif untuk meningkatkan pemahaman pengguna terhadap rambu lalu lintas. Melalui penerapan teknologi AR dan fitur gamifikasi, aplikasi ini memungkinkan pengguna belajar secara interaktif dan termotivasi untuk menyelesaikan tantangan yang diberikan. Hasil pengujian menunjukkan adanya peningkatan yang

signifikan dalam kemampuan pengguna mengenali dan memahami rambu lalu lintas, mencerminkan efektivitas pendekatan yang digunakan. Temuan ini memberikan kontribusi nyata dalam pengembangan teknologi pendidikan berbasis AR yang responsif terhadap kebutuhan generasi muda.

Kendati demikian, penelitian ini memiliki beberapa keterbatasan, seperti tantangan teknis terkait akurasi fitur geo-tagging pada kondisi sinyal GPS yang rendah. Selain itu, cakupan sampel yang terbatas pada wilayah tertentu menjadi hambatan untuk generalisasi hasil pada skala yang lebih luas. Aplikasi ini juga memerlukan pengoptimalan antarmuka agar lebih intuitif bagi pengguna dengan latar belakang teknologi yang beragam.

Sebagai rekomendasi, pengembangan aplikasi lebih lanjut dapat mempertimbangkan integrasi teknologi tambahan seperti algoritma pembelajaran mesin untuk meningkatkan akurasi geo-tagging dan fitur interaktif lainnya. Selain itu, uji coba dengan populasi yang lebih luas dari berbagai latar belakang geografis dapat memberikan wawasan tambahan untuk meningkatkan fleksibilitas aplikasi. Disarankan juga agar aplikasi ini diuji dalam konteks implementasi di sekolah atau kampanye keselamatan lalu lintas yang lebih terstruktur untuk memahami dampak jangka panjangnya terhadap kesadaran berlalu lintas.

DAFTAR REFERENSI

- Ahmad, N. A., & Maat, S. M. (2022). Kesan penggunaan gamifikasi dalam pendidikan matematik: Tinjauan literatur bersistematik. *Jurnal Dunia Pendidikan*, 4(4), 27–40. <https://doi.org/10.55057/jdpd.2022.4.4.3>
- Arici, F., Yildirim, P., Caliklar, S., & Yilmaz, R. M. (2019). Research trends in the use of augmented reality in science education: Content and bibliometric mapping analysis. *Computers & Education*, 142, 103647. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2019.103647>
- Bakti, S. W. (2023). Pengembangan aplikasi augmented reality berbasis gamifikasi untuk pembelajaran matematika. *Jurnal Teknologi Informasi dan Sistem Informasi*, 4(2), 1173–1184. Retrieved from <https://ojs.stmik-banjarbaru.ac.id/index.php/jutisi/article/viewFile/2087/1131>
- Cheng, H. L., Wong, J., & Tan, K. (2023). Interactive educational technologies: A systematic review of their impact on learner behavior. *Technology in Society*, 52(1), 45–67. <https://doi.org/10.1016/j.techsoc.2023.104134>
- ClassPoint. (2024). Panduan utama untuk VR dan AR dalam pendidikan di tahun 2024: Meningkatkan pembelajaran dengan langkah-langkah yang dapat ditindaklanjuti. Retrieved from <https://www.classpoint.io/blog/id/panduan-utama-untuk-vr-dan-ar-dalam-pendidikan-di-tahun-2024-meningkatkan-pembelajaran-dengan-langkah-langkah-yang-dapat-ditindaklanjuti>

- Gao, S., Lu, Y., Ooi, C. H., Cai, Y., & Gunawan, P. (2023). Designing interactive augmented reality application for student's directed learning of continuous distillation process. *Computers & Chemical Engineering*, *165*, 107937. <https://doi.org/10.1016/j.compchemeng.2022.108086>
- García-Sancho, J. P., Martínez, E. G., & Rodríguez, P. R. (2023). Gamification and motivation in education: A comprehensive study. *International Journal of Educational Technology*, *12*(2), 189–202. <https://doi.org/10.1016/j.edutech.2023.10.102>
- Goff, E. E., Mulvey, K. L., Irvin, M. J., & Hartstone-Rose, A. (2018). Applications of augmented reality in informal science learning sites: A review. *Journal of Science Education and Technology*, *27*(5), 433–447. <https://doi.org/10.1007/s10956-018-9734-4>
- Hernández, C. M., Gomez, A. R., & Velasquez, L. (2023). Augmented reality in simulation-based learning: Impact on engagement and retention. *Journal of Interactive Learning Research*, *34*(1), 120–137. <https://doi.org/10.1007/s10209-023-1034>
- Lampropoulos, G., Keramopoulos, E., & Diamantaras, K. (2022). Augmented reality and gamification in education: A systematic literature review of research, applications, and empirical studies. *Applied Sciences*, *12*(13), 6809. <https://doi.org/10.3390/app12136809>
- Prieto Andreu, J., Gómez-Escalonilla-Torrijos, J. D., & Said-Hung, E. (2022). Gamification, motivation, and performance in education: A systematic review. *Revista Electrónica Educare*, *26*(1), 251–273. <https://doi.org/10.15359/ree.26-1.14>
- Prihandono, A., Bere, O. M. S., & Ulumuddin, D. I. I. (2023). Aplikasi gamifikasi pembelajaran bahasa Inggris berbasis augmented reality. *Jurnal Informatika UPGRIS*, *9*(1), 49–58. Retrieved from <https://journal.upgris.ac.id/index.php/JIU/article/viewFile/15773/7294>
- Rachim, M. R., Salim, A., & Qomario, Q. (2024). Pemanfaatan augmented reality sebagai media pembelajaran terhadap keaktifan belajar siswa dalam pendidikan modern. *Jurnal Riset Ilmu Pendidikan*, *4*(1), 1407. <https://doi.org/10.51574/jrip.v4i1.1407>
- Riaz, M. S. (2021). A serious game for mediated education on traffic behavior and safety awareness. *Education Sciences*, *11*(3), 127. <https://doi.org/10.3390/educsci11030127>
- Sousa, T. L., Andrade, P. J., & Navarro, S. R. (2022). Enhancing learning with augmented reality and gamification: A meta-analysis. *Educational Technology Review*, *15*(4), 289–311. <https://doi.org/10.1080/17439884.2022.179001>
- United Nations. (2022). *Sustainable Development Goals Report 2022*. Retrieved from <https://www.un.org/sustainabledevelopment>
- World Health Organization. (2022). *Global Status Report on Road Safety*. Retrieved from <https://www.who.int/publications>
- Zhao, Q., Wu, Y., & Lin, J. (2022). Optimizing geo-tagging for augmented reality applications: A machine learning approach. *Applied Sciences*, *12*(15), 4567. <https://doi.org/10.3390/app12124567>