

Mountain Climbing Safety Induction for Beginners Using Augmented Reality

Safety Induction Pendakian Gunung bagi Pendaki Pemula Menggunakan Augmented Reality

M. Aldi Setiawan¹⁾, Rohman Dijaya^{*,2)}

¹⁾Program Studi Teknik Informatika, Universitas Muhammadiyah Sidoarjo, Indonesia

²⁾ Program Studi Teknik Informatika, Universitas Muhammadiyah Sidoarjo, Indonesia

*Email Penulis Korespondensi: rohman.dijaya@umsida.ac.id

Abstract. *The increasing popularity of mountain climbing among beginners has led to a higher risk of accidents, often due to limited understanding of safety procedures. Traditional safety inductions—such as verbal briefings and printed materials—lack interactivity and fail to simulate real climbing conditions effectively. This study develops and evaluates an Android-based markerless augmented reality (AR) application designed to improve pre-climbing safety induction for novice climbers. Using the Multimedia Development Life Cycle (MDLC), the application was created through stages of concept development, design, material collection, assembly, testing, and distribution. System functionality was verified through black-box testing, confirming that all features operated properly. Feasibility testing with 20 beginner climbers, using a Likert-scale questionnaire, produced an acceptance score of 87%, indicating good to very good user reception. The results highlight the practical potential of immersive, mobile-based AR technology to enhance safety awareness and improve preparatory training effectiveness for novice mountain climbers.*

Keywords - Augmented Reality; Safety Induction; Mountain Climbing; Android Application; Multimedia Learning

Abstrak. *Meningkatnya popularitas pendakian gunung di kalangan pemula telah menyebabkan peningkatan risiko kecelakaan, seringkali karena pemahaman yang terbatas tentang prosedur keselamatan. Induksi keselamatan tradisional—seperti pengarahan verbal dan materi cetak—kurang interaktif dan gagal mensimulasikan kondisi pendakian nyata secara efektif. Studi ini mengembangkan dan mengevaluasi aplikasi augmented reality (AR) tanpa penanda berbasis Android yang dirancang untuk meningkatkan induksi keselamatan pra-pendakian bagi pendaki pemula. Dengan menggunakan Siklus Hidup Pengembangan Multimedia (MDLC), aplikasi ini dibuat melalui tahapan pengembangan konsep, desain, pengumpulan materi, perakitan, pengujian, dan distribusi. Fungsionalitas sistem diverifikasi melalui pengujian black-box, yang mengkonfirmasi bahwa semua fitur beroperasi dengan benar. Pengujian kelayakan dengan 20 pendaki pemula, menggunakan kuesioner skala Likert, menghasilkan skor penerimaan 87%, menunjukkan penerimaan pengguna yang baik hingga sangat baik. Hasilnya menyoroti potensi praktis teknologi AR berbasis seluler yang imersif untuk meningkatkan kesadaran keselamatan dan meningkatkan efektivitas pelatihan persiapan bagi pendaki gunung pemula.*

Kata Kunci – Augmented Reality; Induksi Keselamatan; Pendakian Gunung; Aplikasi Android; Pembelajaran Multimedia

I. PENDAHULUAN

Indonesia, dengan keindahan alamnya yang beragam, telah menjadi surga bagi wisata petualangan, dan pendakian gunung merupakan salah satu kegiatan wisata alam yang mengalami peningkatan popularitas yang signifikan dalam beberapa tahun terakhir [1]. Pertumbuhan pesat ini juga disertai dengan peningkatan kecelakaan terkait pendakian. Antara tahun 2015 dan 2019, terdapat 130 kasus pendaki hilang yang dilaporkan, mengakibatkan 26 kematian, dengan hipotermia atau penyakit (47%) dan kecelakaan (24%) diidentifikasi sebagai penyebab utama [2]. Meskipun insiden ini dipengaruhi oleh kondisi lingkungan, proporsi faktor yang dapat dicegah yang tinggi menunjukkan adanya potensi kesenjangan dalam kesiapan keselamatan pendaki, khususnya di kalangan pemula. Banyak pendaki pemula tertarik oleh pemandangan gunung yang ditampilkan di media sosial tanpa kesadaran yang cukup tentang risiko keselamatan pendakian dan prosedur penanganan darurat. Kondisi ini menunjukkan bahwa induksi keselamatan pra-pendakian yang ada mungkin tidak secara efektif meningkatkan pemahaman prosedural dan kesadaran situasional. Metode induksi keselamatan saat ini sebagian besar masih bersifat teoritis, mengandalkan materi berbasis teks, papan informasi, atau pengarahan verbal yang kurang menarik dan terbatas dalam menyampaikan pengetahuan praktis dan kontekstual [3]. Oleh karena itu, dibutuhkan lebih banyak media pembelajaran interaktif dan visual untuk meningkatkan pemahaman keselamatan dan kesiapan di kalangan pendaki pemula.

Teknologi augmented reality (AR) telah terbukti efektif dalam menyampaikan informasi terkait keselamatan secara imersif dan interaktif dengan mengintegrasikan objek virtual ke dalam lingkungan nyata secara real-time [4][5].

AR didukung oleh fitur-fitur seperti pelacakan objek, zoom in-out, animasi, dan audio [6], dan bertujuan untuk memperkaya objek dunia nyata dengan informasi kontekstual [7]. Beberapa studi yang terindeks Scopus telah menunjukkan bahwa pelatihan keselamatan berbasis AR secara signifikan meningkatkan efektivitas pembelajaran, keterlibatan, dan retensi pengetahuan dibandingkan dengan metode pelatihan konvensional, khususnya dalam konteks keselamatan laboratorium dan industri [8][9]. Namun, sebagian besar aplikasi keselamatan berbasis AR atau pendidikan luar ruangan yang ada bergantung pada pelacakan berbasis penanda atau dirancang untuk lingkungan dalam ruangan yang terkontrol, sehingga membatasi penerapannya dalam konteks luar ruangan dinamis atau pra-pendakian. Di Indonesia, penelitian AR sebagian besar berfokus pada aplikasi pendidikan, seperti AR untuk pendidikan buah menggunakan teknik tanpa penanda [10], AR tanpa penanda untuk media pembelajaran interaktif [11], dan aplikasi AR untuk pembelajaran komponen Internet of Things [12], yang umumnya diimplementasikan di dalam ruangan atau ruang kelas. Demikian pula, penelitian AR lainnya di jurnal nasional terus menekankan teknik visualisasi berbasis penanda untuk pembelajaran interaktif [13]. Meskipun penelitian ini menunjukkan potensi AR untuk meningkatkan keterlibatan dan visualisasi, penelitian ini tidak secara khusus membahas induksi keselamatan atau kesiapan situasional di lingkungan luar ruangan yang sebenarnya. Kesenjangan ini menyoroti kebutuhan akan pendekatan AR tanpa penanda yang disesuaikan dengan persiapan keselamatan sebelum pendakian [14].

Penelitian ini berlandaskan pada Teori Pembelajaran Eksperiensial (Kolb), yang menyatakan bahwa pembelajaran efektif terjadi melalui siklus pengalaman konkret, observasi reflektif, konseptualisasi abstrak, dan eksperimen aktif [15]. Dalam konteks keselamatan pendakian, AR imersif memungkinkan pendaki pemula untuk secara virtual mengalami penggunaan peralatan dan prosedur penanganan darurat sebelum menghadapi risiko nyata, sehingga memfasilitasi pembelajaran eksperiensial dan kontekstual [16]. Lebih lanjut, penelitian ini selaras dengan Teori Pembelajaran Multimedia (Mayer), yang menyatakan bahwa peserta didik mencapai pemahaman yang lebih dalam ketika penjelasan verbal diintegrasikan dengan representasi visual yang bermakna daripada hanya disampaikan melalui teks saja [17]. Dengan menggabungkan visualisasi tiga dimensi waktu nyata, animasi, audio, dan interaksi spasial melalui pelacakan tanpa penanda [6][7], aplikasi yang diusulkan mendukung peningkatan pemahaman, retensi, dan kesadaran situasional [18]. Kebaruan penelitian ini tidak hanya terletak pada penerapan teknologi AR tanpa penanda, tetapi juga pada aplikasi metodologis dan kontekstual spesifiknya untuk induksi keselamatan pendakian gunung yang dilakukan sebelum kegiatan luar ruangan [14].

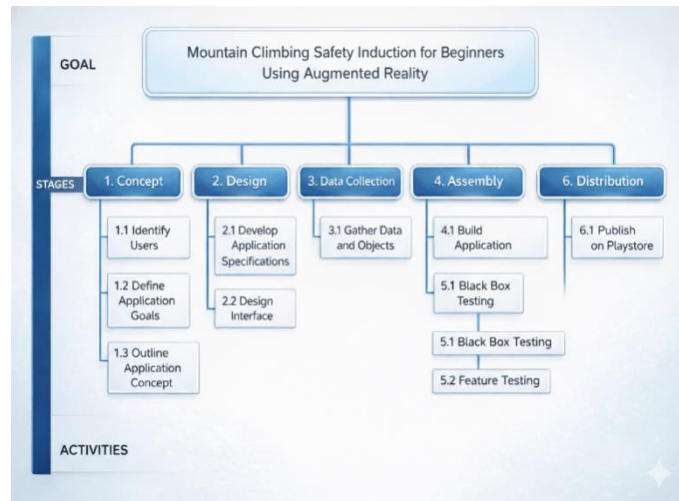
Berdasarkan kesenjangan yang teridentifikasi dan landasan teoritis, penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan dan mengevaluasi aplikasi augmented reality tanpa penanda berbasis Android untuk meningkatkan induksi keselamatan pra-pendakian bagi pendaki pemula. Aplikasi yang dikembangkan menyajikan model AR tiga dimensi interaktif untuk menyampaikan informasi induksi keselamatan [19] dan dikembangkan menggunakan Blender dan Unity, dilengkapi dengan fitur zoom dan audio untuk mendukung pembelajaran multimodal. Secara praktis, AR tanpa penanda meningkatkan aksesibilitas dan kegunaan, karena dapat digunakan kapan saja dan di mana saja tanpa penanda fisik tambahan, sehingga cocok untuk pendidikan keselamatan di luar ruangan. Dengan mengintegrasikan visualisasi imersif dengan aksesibilitas seluler, penelitian ini berkontribusi secara teknologi dan pedagogis untuk memperkuat pemahaman prosedural, kesadaran situasional, dan kesiapan keselamatan di antara pendaki pemula sebelum melakukan aktivitas pendakian yang sebenarnya.

II. METODE

Penelitian ini menggunakan pendekatan penelitian berorientasi pengembangan dalam bentuk pengembangan sistem terapan, yang berfokus pada desain dan implementasi aplikasi augmented reality (AR) tanpa penanda berbasis Android untuk induksi keselamatan pendakian gunung. Metode Multimedia Development Life Cycle (MDLC) dipilih karena dirancang khusus untuk aplikasi berbasis multimedia yang mengintegrasikan komponen visual, audio, dan interaktif, sehingga lebih cocok daripada model instruksional umum seperti ADDIE, yang terutama menekankan perencanaan pedagogis daripada implementasi multimedia teknis. MDLC terdiri dari enam tahapan terstruktur: konsep, desain, pengumpulan materi, perakitan, pengujian, dan distribusi [6].

Tahap konsep mendefinisikan tujuan aplikasi dan fungsionalitas AR, diikuti oleh tahap desain, yang menyusun antarmuka pengguna dan navigasi. Tahap pengumpulan materi mengumpulkan aset multimedia, sedangkan tahap perakitan mengintegrasikan aset-aset ini ke dalam sistem AR tanpa penanda yang fungsional menggunakan deteksi permukaan. AR tanpa penanda dipilih karena keunggulan praktisnya dalam konteks luar ruangan dan mobile, karena menghilangkan ketergantungan pada penanda fisik dan memungkinkan penempatan objek yang fleksibel di lingkungan nyata, yang telah terbukti meningkatkan kegunaan dan imersi dalam aplikasi pendidikan [20]. Setelah pengembangan, aplikasi diuji menggunakan metode pengujian black-box, yang berfokus pada validasi fungsional tanpa memeriksa struktur sistem internal [21]. Evaluasi pengguna dilakukan melalui kuesioner skala Likert yang melibatkan 20 pendaki pemula untuk menilai kegunaan dan efektivitas pembelajaran yang dirasakan. Meskipun jumlah peserta relatif terbatas, ukuran sampel ini dianggap memadai untuk pengujian kegunaan dan kelayakan awal dalam penelitian berbasis pengembangan, di mana tujuan utamanya adalah validasi fungsional daripada generalisasi

skala besar. Studi pengembangan AR serupa telah menggunakan kelompok pengguna kecil untuk mengevaluasi kinerja sistem dan penerimaan pengguna dalam pelatihan keselamatan dan konteks pembelajaran interaktif. Meskipun demikian, ukuran sampel yang terbatas merupakan kendala metodologis, dan penelitian selanjutnya disarankan untuk melibatkan populasi partisipan yang lebih besar dan lebih beragam untuk meningkatkan generalisasi. Pertimbangan etis diperhatikan sepanjang penelitian: semua partisipan memberikan persetujuan berdasarkan informasi sebelum pengumpulan data, partisipasi bersifat sukarela, dan data responden dianonimkan untuk memastikan kerahasiaan [22]. Terakhir, aplikasi didistribusikan dengan mengunggahnya ke Google Play Store [23].



Gambar 1. *Work Breakdown Structure*

Work Breakdown Structure (WBS) adalah diagram hierarkis yang disusun dari atas ke bawah untuk membagi proses kerja menjadi bagian-bagian yang lebih rinci. Pendekatan ini membantu dalam manajemen dan kontrol selama pelaksanaan penelitian [24]. Setelah WBS disusun, langkah selanjutnya adalah membahas setiap tahapan penelitian yang telah dilakukan sesuai dengan tujuan dan metode penelitian.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Tahap awal WBS adalah konseptualisasi. Tahap ini melibatkan penentuan pengguna sasaran aplikasi, tujuannya, dan konsep yang akan digunakan saat membuat aplikasi [21].

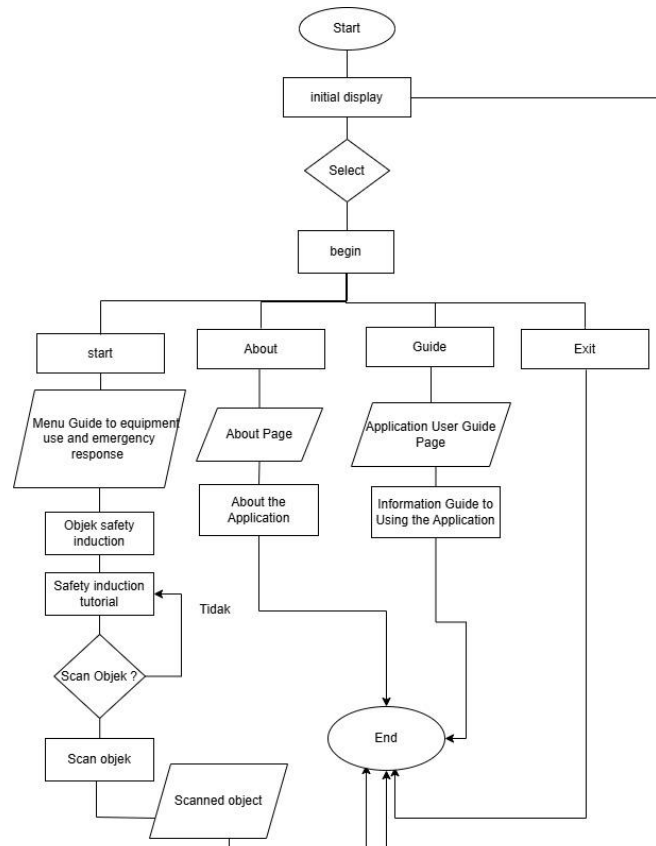
- 1) Pada tahap identifikasi pengguna, aktivitas yang dilakukan meliputi pencarian sumber data melalui studi literatur, diikuti dengan aplikasi yang difokuskan pada pendaki pemula.
- 2) Aplikasi untuk penelitian ini bertujuan untuk membantu pendaki pemula memahami cara menggunakan peralatan panjat tebing dengan benar dan cara menangani situasi darurat.
- 3) Konsep yang diterapkan dalam penelitian ini adalah pengembangan aplikasi berbasis media pada smartphone Android. Aplikasi ini akan dibuat menggunakan perangkat lunak Blender dan Unity 3D.

Table 1. Deskripsi konsep aplikasi

No	Fitur	Deskripsi
1	Judul	Induksi Keselamatan Pendakian Gunung untuk Pemula Menggunakan Realitas Tertambah
2	Pengguna	Pendaki Pemula
3	Fitur	Halaman utama, Mulai, Pemindaian 3D, Tentang, Panduan, Keluar
4	Gambar	Gambar, Latar Belakang, tombol
5	Interaksi	Halaman utama aplikasi, menu utama, mulai, pemindaian AR 3D, tentang, Bantuan, menu, keluar

Tahap selanjutnya adalah desain, yang berfokus pada penentuan spesifikasi aplikasi dan perancangan antarmuka. Spesifikasi aplikasi ditunjukkan dalam diagram alur pada Gambar 2. Diagram alur mengilustrasikan setiap langkah dalam proses menggunakan simbol yang dihubungkan oleh garis dan panah. Tidak hanya itu, penggunaan diagram

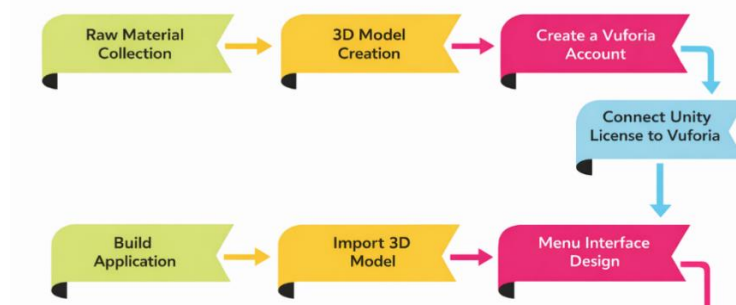
alur dalam program membuat alur kerja lebih jelas, ringkas, dan meminimalkan kemungkinan kesalahpahaman [24]. Diagram alur menjelaskan desain aplikasi induksi keselamatan gunung untuk pendaki pemula. Saat membuka aplikasi, pengguna akan diperlihatkan tampilan awal, di mana mereka dapat memilih untuk masuk ke menu utama atau keluar untuk menutup aplikasi. Di menu utama, terdapat empat tombol, yaitu mulai, tentang, panduan, dan keluar. Jika Anda memilih mulai, Anda dapat memilih menu penggunaan peralatan atau penanganan situasi darurat. Setelah itu, Anda dapat memilih salah satu objek, dan setelah memilih objek, Anda akan diarahkan ke tutorial induksi keselamatan dan pemindaian 3D. Menu tentang berisi penjelasan singkat tentang aplikasi. Menu panduan berisi tutorial tentang penggunaan aplikasi, sedangkan menu keluar adalah untuk mengakhiri penggunaan aplikasi.



Gambar 2. Flowchart

Langkah selanjutnya adalah mendesain antarmuka aplikasi. Antarmuka aplikasi disajikan dalam bentuk desain antarmuka. Desain antarmuka merupakan langkah dalam mendesain tampilan sistem perangkat lunak dan bagaimana interaksi visual terjadi [25]. Gambar 3 menunjukkan desain antarmuka aplikasi induksi keselamatan pendakian gunung untuk pendaki pemula menggunakan Augmented Reality.

Tahap perakitan adalah proses di mana semua desain dan material diwujudkan. Pada tahap ini, semua komponen atau item dikembangkan dan diintegrasikan untuk membentuk aplikasi lengkap [26]. Tahap awal pengembangan aplikasi meliputi pengumpulan material, pembuatan model tiga dimensi, pembuatan akun EasyAR, dan menghubungkannya ke Unity. Selanjutnya, tampilan menu dirancang, model tiga dimensi diintegrasikan ke dalam aplikasi, dan tahap terakhir adalah proses pembuatan aplikasi menggunakan alat Unity.



Gambar 3. Alur Perakitan Aplikasi

Proses perakitan menghasilkan aplikasi yang menekankan visualisasi objek tiga dimensi sebagai konsep utamanya. Gambar 3 mengilustrasikan konsep interaksi dasar antara pengguna dan objek tiga dimensi dalam aplikasi. Sementara itu, Gambar 4 menyajikan fitur utama aplikasi, khususnya tampilan dan interaksi model karakter 3D selama eksekusi aplikasi.

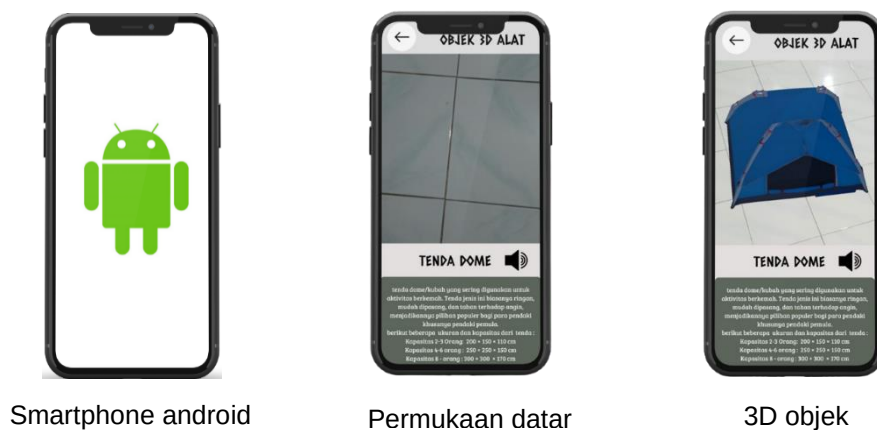


Figure 4. Implementasi interaktif dari aplikasi

Tabel 2. Black-box testing

No	Fitur	Hasil Pengujian			Deskripsi
		Baik	Kurang	Tidak	
1	Tampilan awal yang menampilkan masuk dan keluar	✓			sukses
2	Halaman utama yang berisi menu mulai, tentang, panduan, dan keluar.	✓			sukses
3	Halaman pemilihan objek induksi keselamatan	✓			sukses
4	Halaman penggunaan peralatan menampilkan tombol peralatan pendakian gunung	✓			sukses
5	Halaman penanganan situasi darurat menampilkan tombol kecelakaan untuk para pendaki.	✓			sukses
6	Setiap tombol penggunaan peralatan dapat diklik untuk menampilkan tutorial pengenalan keselamatan dan pemindaian Ar.	✓			sukses
7	Setiap tombol respons darurat dapat diklik untuk menampilkan pemindaian tutorial induksi keselamatan dan pemindaian AR.	✓			sukses
8	Tombol scan Ar dapat dibuka dan kamera dapat digunakan	✓			sukses
9	Scan tenda	✓			sukses
10	Scan kompor portable	✓			sukses
11	Scan sleeping bag	✓			sukses

12	Scan kompas	✓	sukses
13	Scan senter pendakian	✓	sukses
14	Scan kaki terkilir	✓	sukses
15	Scan luka goresan ringan	✓	sukses
16	Scan hipotermia	✓	sukses
17	Tombol start	✓	sukses
18	Tombol penggunaan peralatan	✓	sukses
19	Tombol penanganan situasi darurat	✓	sukses
20	Tombol Tentang	✓	sukses
21	Tombol Panduan	✓	sukses
22	Tombol keluar di halaman utama	✓	sukses
23	Tombol kembali	✓	sukses
24	Tombol Masuk	✓	sukses
24	Tombol keluar di halaman Tampilan awal aplikasi	✓	sukses

Tabel 2 menunjukkan hasil pengujian black box pada aplikasi. Pengujian dimulai dari layar awal, yang memiliki tombol masuk dan keluar. Selanjutnya, pengguna memasuki halaman utama dan memilih menu mulai untuk meluncurkan aplikasi. Di menu ini, pengguna dapat memilih penggunaan peralatan atau penanganan situasi darurat, kemudian memilih objek yang diinginkan untuk masuk ke halaman tutorial pengenalan keselamatan. Di halaman ini, terdapat tombol pemindaian 3D untuk menampilkan objek tiga dimensi. Selain itu, di halaman utama juga terdapat menu tentang, panduan, dan keluar untuk menutup aplikasi.

Tabel 3. Smartphone test results

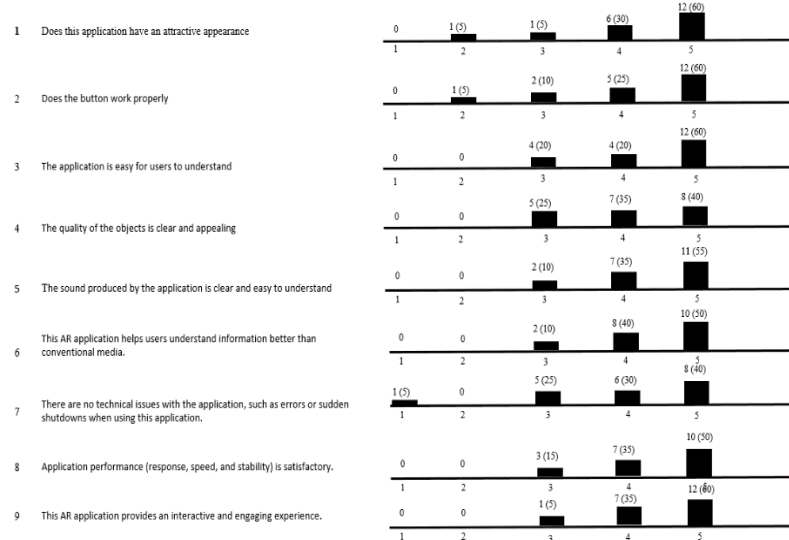
No	Device name mobile phone	Andrid version	RAM	Plugin Easy Ar	Results
1	Realme c75x	Android 15	8+16	Yes	Aplikasi berjalan dengan lancar
2	Vivo 2019	Android 12	4	Yes	Aplikasi berjalan dengan lancar
3	Samsung galaxy A07	Android 15	4	Yes	Tidak mendukung plugin Easy Ar.
4	Samsung Galaxy S7 Edge	Android 8	4	Yes	Aplikasi berjalan dengan lancar
5	Samsung galaxy note 9	Android 11	6	Yes	Aplikasi berjalan dengan lancar

Tabel 3 menunjukkan hasil berdasarkan pengujian kompatibilitas perangkat yang dilakukan pada lima ponsel pintar Android berbeda dengan spesifikasi dan versi sistem operasi yang bervariasi. Hasilnya menunjukkan bahwa aplikasi dapat berjalan lancar di sebagian besar perangkat yang diuji. Aplikasi ini berkinerja baik pada perangkat dengan versi Android mulai dari Android 8 hingga Android 15 dan kapasitas RAM antara 4 GB dan 16 GB. Namun, satu perangkat, Samsung Galaxy A07, tidak dapat mendukung plugin Easy AR, yang menunjukkan bahwa keterbatasan perangkat keras atau perangkat lunak tertentu dapat memengaruhi kompatibilitas dengan kerangka kerja AR tertentu. Secara keseluruhan, temuan menunjukkan bahwa aplikasi yang dikembangkan umumnya kompatibel di berbagai perangkat Android, meskipun dukungan untuk fitur AR tanpa penanda mungkin bergantung pada kemampuan perangkat.

Tabel 4. Skor Skala Likert

Category	Presentase	Description
1	0% - 20%	Very poor
2	21% - 40%	Poor
3	41% - 60%	Fair
4	61% - 80%	Good
5	81% - 100%	Very Good

Tabel 4 menyajikan kriteria penilaian kelayakan menggunakan skala Likert 1 hingga 5, mulai dari klasifikasi terendah hingga tertinggi. Penilaian kelayakan ini dilakukan dengan mendistribusikan kuesioner kepada responden untuk mengukur aspek visual, fungsionalitas, dan efektivitas aplikasi. Semua peserta diminta untuk memberikan penilaian komprehensif berdasarkan pengalaman pengguna mereka.



Gambar 5. Hasil grafis dari kuesioner pengalaman pengguna

Gambar 5 dari hasil kuesioner yang diperoleh dari pendaki pemula, terdapat 20 responden dengan skor 5, berjumlah 95; skor 4, berjumlah 57; skor 3, berjumlah 25; skor 2, berjumlah 2; dan skor 1, berjumlah 1 responden. Rumus untuk menilai tanggapan responden terhadap aplikasi induksi keselamatan realitas ditambah untuk pendaki pemula pada skala Likert. Skor tertinggi ditandai dengan X, dan skor tertinggi berada pada kategori “kinerja optimal” dengan skor 5. Skor yang diperoleh adalah jumlah pertanyaan dikalikan dengan kuesioner yang diajukan, yaitu $X = 5 \times 9 = 45$. Skor yang diharapkan diwakili oleh Y, kemudian dihitung dengan mengalikan nilai tersebut dengan jumlah responden yang ditentukan, $Y = 45 \times 20$ (jumlah responden) = 900.

f = Nilai frekuensi total untuk setiap pertanyaan

P = Presentasi kelayakan

T = Total responden

Y = Skor yang diharapkan

Pn = Likert score

Oleh karena itu, hasil perhitungan kepuasan pengguna adalah:

$$f = T \times P_n \quad (1)$$

$$f = (95 \times 5) + (57 \times 4) + (25 \times 3) + (2 \times 2) + (1 \times 1)$$

$$f = 475 + 228 + 75 + 4 + 1 = 783$$

$$p = f/y \times 100\% = P\% \quad (2)$$

$$p = 783/900 \times 100\% = 87\%$$

Berdasarkan hasil analisis, aplikasi Augmented Reality Safety Induction Mountain Climbing yang dikembangkan untuk pendaki pemula memperoleh skor kelayakan sebesar 87%. Dibandingkan dengan metode induksi keselamatan konvensional seperti briefing langsung, materi bacaan, dan video edukasi, media berbasis AR menunjukkan keunggulan dalam meningkatkan keterlibatan pengguna dan memberikan pengalaman belajar yang lebih mendalam. Hasil ini sejalan dengan studi ilmiah tentang pelatihan keselamatan, yang menyatakan bahwa penggunaan AR umumnya lebih efektif daripada metode tradisional, terutama dalam meningkatkan keterlibatan dan retensi pembelajaran, meskipun perbedaan dalam perolehan pengetahuan tidak selalu signifikan secara statistik. Meta-analisis dari berbagai studi juga menunjukkan bahwa AR lebih unggul dalam menyampaikan materi yang kompleks. Oleh karena itu, aplikasi AR yang dikembangkan dapat dianggap sangat efektif dan cocok untuk digunakan sebagai media pendidikan untuk induksi keselamatan pendakian gunung bagi pendaki pemula [27].

Pada tahap distribusi, aplikasi pengenalan keselamatan pendakian gunung berbasis augmented reality untuk pendaki pemula akan dipublikasikan melalui Google Play Store setelah seluruh proses pengujian selesai. Pengujian tersebut mencakup pengujian pengguna oleh seorang pendaki gunung. Selanjutnya, aplikasi ini akan diimplementasikan sebagai media pembelajaran interaktif untuk mendukung kegiatan pendidikan.



Figure 6. Testing by user

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa aplikasi induksi keselamatan pendakian gunung berbasis augmented reality yang dikembangkan layak dan diterima dengan baik oleh pendaki pemula. Skor kelayakan sebesar 87% yang diperoleh dari kuesioner skala Likert mencerminkan persepsi positif pengguna dalam hal kegunaan, kejelasan visual, interaktivitas, dan manfaat yang dirasakan. Temuan ini sejalan dengan literatur terbaru yang melaporkan bahwa teknologi AR dapat secara signifikan meningkatkan pelatihan keselamatan dan pengalaman belajar yang mendalam dengan meningkatkan keterlibatan dan partisipasi aktif dibandingkan dengan metode tradisional [28][29]. Salah satu kontribusi utama penelitian ini terletak pada implementasi teknologi AR tanpa penanda untuk pendidikan keselamatan di luar ruangan. Tidak seperti AR berbasis penanda, yang bergantung pada penanda yang dicetak, AR tanpa penanda memungkinkan pengguna untuk berinteraksi dengan model peralatan keselamatan tiga dimensi dalam pengaturan yang fleksibel tanpa alat fisik tambahan. Karakteristik ini mendukung prinsip pembelajaran pengalaman dan situasional, khususnya di lingkungan dunia nyata yang dinamis seperti pendakian gunung, dan selaras dengan temuan bahwa teknologi AR dan realitas yang diperluas memperkaya pelatihan keselamatan dengan menciptakan lingkungan belajar interaktif yang realistis [30].

Namun, penelitian ini memiliki beberapa keterbatasan yang perlu diakui. Pertama, jumlah responden yang terlibat dalam evaluasi pengguna relatif kecil, hanya terdiri dari 20 pendaki pemula, yang membatasi generalisasi hasil. Kedua, penelitian ini tidak menyertakan evaluasi pembelajaran pra-pasca untuk mengukur secara kuantitatif peningkatan pengetahuan keselamatan atau kesiapan perilaku; evaluasi terutama berfokus pada persepsi pengguna dan kelayakan sistem. Akibatnya, meskipun pengguna melaporkan pengalaman positif, sejauh mana aplikasi meningkatkan retensi pembelajaran dan perilaku keselamatan tidak dapat ditentukan secara pasti. Penelitian selanjutnya harus menggabungkan desain eksperimental, seperti penilaian pra-uji dan pasca-uji, untuk mengevaluasi efektivitas pembelajaran secara lebih ketat [29]. Ketiga, kinerja aplikasi bergantung pada plugin AR tertentu, seperti plugin Easy AR, yang mungkin tidak sepenuhnya didukung di semua perangkat Android, yang menyiratkan keterbatasan teknis dalam penerapan AR di berbagai perangkat keras.

Dari perspektif pedagogis, temuan studi ini memperkuat potensi teknologi Augmented Reality (AR) sebagai alat yang efektif untuk mendukung pendidikan luar ruangan dan pelatihan keselamatan. Integrasi visualisasi 3D interaktif dan interaksi pengguna secara real-time selaras dengan teori pembelajaran pengalaman dan pembelajaran visual, yang sangat efektif untuk konteks pelatihan prosedural dan berorientasi risiko. Studi terbaru yang diindeks di Scopus menunjukkan bahwa AR dapat menciptakan lingkungan pembelajaran yang imersif dan interaktif, meningkatkan keterlibatan peserta didik, pemahaman prosedur yang kompleks, dan kesadaran situasional dalam pelatihan keselamatan [31].

Secara khusus, studi perbandingan menunjukkan bahwa pelatihan keselamatan berbasis AR lebih efektif dalam perolehan pengetahuan jangka pendek dan retensi jangka panjang dibandingkan metode berbasis slide tradisional, seperti yang diamati dalam studi kasus keselamatan konstruksi metro [29]. Temuan ini konsisten dengan teori pembelajaran pengalaman, yang menekankan pentingnya keterlibatan aktif dengan konten nyata dalam mengembangkan kompetensi praktis dan kesiapan menghadapi situasi berisiko.

IV. SIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian ini, dapat disimpulkan bahwa Aplikasi Induksi Keselamatan Panjat Tebing untuk Pendaki Pemula berkontribusi pada pengembangan media pendidikan keselamatan interaktif dengan mengintegrasikan teknologi augmented reality tanpa penanda ke dalam pelatihan keselamatan di luar ruangan. Penelitian ini menunjukkan bagaimana visualisasi berbasis AR dapat diterapkan secara efektif untuk menyajikan penggunaan peralatan panjat tebing dan prosedur penanganan keadaan darurat dengan cara yang lebih menarik dan

imersif dibandingkan dengan metode induksi keselamatan konvensional. Penggunaan AR tanpa penanda memungkinkan pengguna untuk mengakses konten pembelajaran tiga dimensi secara fleksibel tanpa memerlukan penanda fisik atau peralatan sebenarnya, sehingga meningkatkan kepraktisan dan mendukung pembelajaran visual dan pengalaman bagi pendaki pemula.

Dari perspektif evaluasi sistem, aplikasi tersebut berhasil divalidasi melalui pengujian black-box, yang mengkonfirmasi bahwa semua fitur fungsional beroperasi sesuai yang diharapkan. Lebih lanjut, evaluasi pengguna yang melibatkan 20 responden menghasilkan skor kelayakan sebesar 87%, yang dikategorikan sebagai baik hingga sangat baik. Temuan ini menunjukkan bahwa aplikasi yang dikembangkan tidak hanya andal secara fungsional tetapi juga diterima secara positif oleh pengguna sebagai media pendidikan untuk pengenalan keselamatan pendakian gunung.

Meskipun demikian, studi ini memiliki beberapa keterbatasan yang perlu dipertimbangkan. Pertama, evaluasi melibatkan jumlah responden yang relatif kecil, yang dapat membatasi generalisasi temuan. Kedua, penilaian berfokus pada persepsi pengguna dan kelayakan sistem tanpa memasukkan pengukuran pra-pasca pembelajaran untuk mengevaluasi peningkatan pengetahuan atau kesiapan perilaku secara kuantitatif. Selain itu, kinerja aplikasi bergantung pada plugin augmented reality tertentu, yang dapat memengaruhi kompatibilitas di berbagai perangkat.

Pengembangan aplikasi ini di masa mendatang dapat mencakup fitur tambahan seperti panduan rute evakuasi, peta rute pendakian, dan informasi kontak darurat terintegrasi. Selain itu, penelitian selanjutnya disarankan untuk menggunakan metode evaluasi eksperimental dan ukuran sampel yang lebih besar untuk mengukur efektivitas pembelajaran secara lebih komprehensif. Dengan penyempurnaan lebih lanjut, aplikasi ini memiliki potensi besar untuk digunakan sebagai media pendukung pembelajaran dalam program pelatihan pendakian dan kegiatan pendidikan luar ruangan sesuai dengan standar keselamatan yang berlaku.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada Dosen Pembimbing yang telah memberikan bimbingan, arahan, saran, serta motivasi selama proses pelaksanaan penelitian ini, sehingga penelitian dapat diselesaikan dengan baik. Penulis juga menyampaikan terima kasih kepada Dosen Penguji I dan Dosen Penguji II atas waktu, masukan, kritik, dan saran yang sangat membangun dalam rangka penyempurnaan penelitian ini. Selain itu, penulis mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu dan berkontribusi, baik secara langsung maupun tidak langsung, dalam pelaksanaan penelitian ini. Semoga penelitian ini dapat memberikan manfaat dan kontribusi bagi pengembangan ilmu pengetahuan di bidang terkait.

REFERENSI

- [1] R. Nursyanti, Budiman, and A. Widiyanto, "Pemanfaatan Augmented Reality untuk Eksplorasi Gunung Berapi di Jawa Barat," *Journal of Informatic Engineering (JOUTICA)*, vol. 9, pp. 149–161, 2024, doi:10.30736/informatika.v9i2.1289.
- [2] S. Wahyuni and R. Doni, "Penerapan Augmented Reality Sebagai Metode Jenis-Jenis Gunung di Sumatera Utara Menggunakan Metode Marker Based Tracking Berbasis Android," *JID (Jurnal Info Digit)*, vol. 2, no. 2, pp. 459–471, 2024.
- [3] R. Setiawan, S. Rahayu, and I. Komalasari, "Pengembangan Aplikasi Augmented Reality untuk Edukasi Keselamatan Kebakaran: Metode Prototyping dan Usability," *J. Appl. Comput. Sci. Technol.*, vol. 6, no. 1, pp. 1–8, 2025, doi: 10.52158/jacost.v6i1.1028.
- [4] M. Fachruddin, R. Dijaya, and M. A. Rosid, "Replication of the Climbing Post on Mount Arjuno Using Augmented Reality (AR) with the Open Asset Import Library Method," *Procedia of Engineering and Life Science*, vol. 4, Jun. 2023, doi:10.21070/pels.v4i0.1428.
- [5] A. U. Syarif and C. C. Astuti, "Pengembangan Media Pembelajaran Augmented Reality (AR) pada Pembelajaran Perangkat Keras Komputer di SMK Al-Aziziyah Candi," *J. Ilm. Edutic: Pendidikan dan Informatika*, vol. 10, no. 1, pp. 24–35, Nov. 2023, doi:10.21107/edutic.v10i1.22082.
- [6] D. Alifah, R. Megawaty, D. A. Najib, and M. Satria, "Pemanfaatan Augmented Reality untuk Koleksi Kain Tapis (Studi Kasus: UPTD Museum Negeri Provinsi Lampung)," *J. Teknol. dan Sist. Inf.*, vol. 2, no. 2, pp. 1–7, 2021.
- [7] R. Wahyuddin, A. Sucipto, and T. Susanto, "Pemanfaatan Teknologi Augmented Reality dengan Metode Multiple Marker pada Pengenalan Komponen Komputer," *J. Informatika dan Rekayasa Perangkat Lunak (JATIKA)*, vol. 3, no. 3, pp. 278–285, 2022.
- [8] N. Sugihartini and I. G. A. M. Swisnandy, "Augmented reality in computer systems integrated with project-based learning in vocational schools," *Indonesian Journal of Educational Development (IJED)*, vol. 6,

- no. 2, pp. 465–478, 2025, doi:10.59672/ijed.v6i2.5093.
- [9] S. Ding, T. Lu, X. Lv, Y. Zhang, R. Deng, and X. Huang, “Augmented Reality for Enhancing Educational Experience in Laboratory Safety Training,” *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, vol. 100, p. 105848, 2025, doi:10.1016/j.jlp.2025.105848.
 - [10] S. D. Prasetya and Y. Anistiyasari, “Studi Literatur Pengaruh Media Pembelajaran Berbasis Augmented Reality Markerless terhadap Motivasi Belajar Siswa,” *IT-Edu: Jurnal Information Technology and Education*, vol. 5, no. 3, pp. 468–479, 2020.
 - [11] M. Agil and S. L. M. Sitio, “Implementasi Metode Markerless Augmented Reality Untuk Edukasi Nama Buah-Buahan Berbasis Android,” *J. Din. Inform.*, vol. 14, no. 2, pp. 105–115, 2022, doi: 10.35315/informatika.v14i2.9199.
 - [12] A. W. Arisandi, R. Agustina, and Y. S. Dwanoko, “Implementasi Augmented Reality Markerless User Defined Target Pada Enhance Learning Pengenalan Komponen Internet of Things (IoT),” *J. Terap. Sains Teknol.*, vol. 4, no. 3, pp. 198–207, 2022.
 - [13] I. D. Barus, A. Usman, and D. Dharmawati, “Implementasi Augmented Reality Sebagai Media Edukasi dan Promosi Aceh Tenggara Menggunakan Metode Markerless,” *J. Ilmu Komput. dan Sist. Komput. Terap.*, vol. 7, no. 1, pp. 19–32, 2025, doi: 10.35447/jikstra.v7i1.1146.
 - [14] R. Dijaya, W. S. Bintara, and A. S. Fitriani, “Wisata Alam Digital di Kota Kediri Menggunakan Augmented Reality,” *JUPI (Jurnal Ilmiah Penelitian dan Pembelajaran Informatika)*, vol. 6, no. 2, pp. 293–304, 2021, doi:10.29100/jupi.v6i2.2001.
 - [15] A. Yudiernawati, T. D. Wahyuni, and P. Suryani, “Learning innovation using augmented reality for interactive learning experiences,” *J. Konseling dan Pendidik.*, vol. 13, no. 1, pp. 305–315, 2025, doi: 10.29210/1142300.
 - [16] E. Ahdhianto, Y. K. Barus, and M. A. Thohir, “Augmented reality as a game changer in experiential learning: Exploring its role cultural education for elementary schools,” *J. Pedagog. Res.*, vol. 9, no. 1, pp. 296–313, 2025, doi: 10.33902/JPR.202533573.
 - [17] A. A. L. Putri and A. Lestari, “Analisis Kualitas Video Pembelajaran Berdasarkan Teori Multimedia Mayer,” *Sinergi J. Ilm. Multidisiplin*, vol. 1, no. 2, pp. 1555–1573, 2025.
 - [18] H. T. Crogman, V. D. Cano, E. Pacheco, R. B. Sonawane, and R. Boroon, “Virtual Reality, Augmented Reality, and Mixed Reality in Experiential Learning: Transforming Educational Paradigms,” *Educ. Sci.*, vol. 15, no. 3, pp. 1–23, 2025, doi: 10.3390/educsci15030303.
 - [19] F. K. Nst, I. Faisal, and K. Chiuloto, “Media Pengenalan Makanan Khas Daerah Sumatera Menggunakan Teknologi Augmented Reality Berbasis Android,” *Jurnal Teknologi Pangan*, vol. 6341, no. Apr., pp. 60–67, 2022.
 - [20] J. Apriliano, S. Boediono, M. Rizqi, and F. Iqbal, “ScienceDirect ScienceDirect Markerless Augmented Reality Application for Indonesian Traditional House Education,” *Procedia Comput. Sci.*, vol. 227, pp. 718–725, 2023, doi: 10.1016/j.procs.2023.10.576.
 - [21] O. Okta Rita and G. Guspatni, “Teknologi Augmented Reality dalam Pembelajaran Kimia: Tinjauan Pustaka,” *J. Pendidikan Tambusai*, vol. 8, no. 2, pp. 18552–18562, 2024, doi:10.31004/jptam.v8i2.15094.
 - [22] R. M. A. Trikotama, M. N. Nurrohman, and D. K. Hutajulu, “Application of Augmented Reality in Education,” *Hipkin J. Educ. Res.*, vol. 1, no. 3, pp. 263–274, Dec. 2024, doi:10.64014/hipkin-jer.v1i3.26.
 - [23] D. Rhomadiniyah, R. Dijaya, and Y. Rahmawati, “The Digital City Tour Guide Using Augmented Reality on the Pasupati Bridge: City Tour Guide Digital Menggunakan Augmented Reality Pada Jembatan Pasupati,” *Procedia of Engineering and Life Science*, vol. 4, Jun. 2023, doi:10.21070/pels.v4i0.1431.
 - [24] I. Insyiroh, C. Taurusta, and S. Suprianto, “Perancangan aplikasi pengenalan ikon wisata Kota Surabaya berbasis augmented reality,” *Jurnal Pendidikan Informatika dan Sains*, vol. 12, no. 1, pp. 123–135, 2023, doi:10.31571/saintek.v12i1.5825.
 - [25] R. Silva, A. Putri, Y. Rahmawati, S. Busono, and A. Eviyanti, “Aplikasi Go Tour Sekitar Tugu Yogyakarta Berbasis Augmented Reality,” *J. Teknol. dan Manaj. Inf.*, vol. 9, no. 2, pp. 99–109, 2023.
 - [26] A. F. Makarim, “Aplikasi Edukasi Jenis Narkoba Berbasis Augmented Reality Sebagai Media Pembelajaran Bagi Generasi Muda,” *J. Pendidikan dan Teknologi Informasi*, vol. 15, no. 1, pp. 70–80, 2025.
 - [27] M. C. Howard and M. M. Davis, “A Meta-analysis of augmented reality programs for education and training,” *Virtual Real.*, vol. 27, no. 4, pp. 2871–2894, 2023, doi: 10.1007/s10055-023-00844-6.
 - [28] P. Gong, Y. Lu, R. Lovreglio, X. Lv, and Z. Chi, “Applications and effectiveness of augmented reality in safety training: A systematic literature review and meta-analysis,” *Saf. Sci.*, vol. 178, p. 106624, 2024, doi: https://doi.org/10.1016/j.ssci.2024.106624.
 - [29] P. Gong, Y. Lu, R. Lovreglio, X. Yang, and Y. Deng, “Comparing the effectiveness of AR training and slide-based training: The case study of metro construction safety,” *Saf. Sci.*, vol. 176, p. 106561, 2024, doi: https://doi.org/10.1016/j.ssci.2024.106561.
 - [30] G. Lampropoulos, P. Fernández-Arias, Á. Antón Sancho, and D. Vergara, “Examining the Role of

- Augmented Reality and Virtual Reality in Safety Training,” *Electronics*, vol. 13, no. 19, p. 3952, 2024, doi:10.3390/electronics13193952.
- [31] S. Li, Q.-C. Wang, H.-H. Wei, and J.-H. Chen, “Extended Reality (XR) Training in the Construction Industry: A Content Review,” *Buildings*, vol. 14, no. 2, p. 414, 2024, doi:10.3390/buildings14020414.