

Implementation Of Marker-Based Tracking And Fisher-Yates Shuffle Algorithms In An Augmented Reality-Based Solid Geometry Learning Application Using Unity For Mobile Platform

Ryandika Anugrah ¹⁾; Edy Hermansyah ²⁾; Rizka Tri Alinse ³⁾

¹⁾ Study Program of Informatics, Faculty of Computer Science, Universitas Dehasen Bengkulu

^{2,3)} Department of Informatics, Faculty of Computer Science, Universitas Dehasen Bengkulu

Email: ¹⁾ ryandikaa26@gmail.com

How to Cite :

Anugrah, R., Hermansyah, E., & Alinse, R. T. (2026). Implementation of Marker-Based Tracking and Fisher-Yates Shuffle Algorithms in an Augmented Reality-Based Solid Geometry Learning Application Using Unity for Mobile Platform. Jurnal Media Computer Science, 5(4).

ARTICLE HISTORY

Received [31 Agustus 2026]

Revised [25 Oktober 2026]

Accepted [28 Oktober 2026]

KEYWORDS

Augmented Reality, Marker-Based Tracking, Fisher-Yates Shuffle.

This is an open access article under the [CC-BY-SA](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/) license



ABSTRAK

Pembelajaran materi bangun ruang masih menghadapi kendala dalam memvisualisasikan objek tiga dimensi sehingga peserta didik mengalami kesulitan dalam memahami konsep yang bersifat abstrak. Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan mengembangkan aplikasi pembelajaran bangun ruang berbasis Augmented Reality (AR) menggunakan Unity pada platform Android dengan menerapkan algoritma Marker-Based Tracking dan Fisher-Yates Shuffle. Marker-Based Tracking digunakan untuk mendeteksi marker secara real-time dan menampilkan objek bangun ruang tiga dimensi, sedangkan algoritma Fisher-Yates Shuffle diterapkan untuk mengacak urutan soal pada fitur evaluasi. Penelitian ini menggunakan metode Research and Development (R&D) dengan model pengembangan Waterfall yang meliputi tahap analisis kebutuhan, perancangan, implementasi, pengujian, dan pemeliharaan. Pengumpulan data dilakukan melalui observasi, wawancara, dan studi literatur. Pengujian aplikasi dilakukan menggunakan Black Box Testing untuk menguji fungsionalitas sistem dan System Usability Scale (SUS) untuk mengukur tingkat usability aplikasi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa aplikasi berhasil dikembangkan menggunakan Unity dan Vuforia pada platform Android. Implementasi Marker-Based Tracking berhasil mendeteksi marker dan menampilkan objek 3D bangun ruang secara real-time, sedangkan Fisher-Yates Shuffle berhasil menghasilkan variasi urutan soal pada fitur quiz. Hasil Black Box Testing menunjukkan seluruh fitur utama aplikasi berjalan 100% sesuai dengan skenario pengujian. Sementara itu, hasil pengujian SUS terhadap 20 siswa memperoleh nilai rata-rata 78,0 yang termasuk kategori Acceptable dengan predikat Grade B (Good). Dengan demikian, aplikasi yang dikembangkan memiliki tingkat usability yang baik dan dapat digunakan sebagai media pembelajaran interaktif untuk membantu siswa memahami materi bangun ruang.

ABSTRACT

Teaching three-dimensional shapes still faces challenges in visualizing three-dimensional objects, causing students to struggle with understanding abstract concepts. This study aims to design and develop an Augmented Reality (AR)-based geometric shapes learning application using Unity on the Android platform by implementing the Marker-Based Tracking and Fisher-Yates Shuffle algorithms. Marker-Based Tracking is used to detect markers in real-time and display three-dimensional geometric shapes, while the Fisher-Yates Shuffle

algorithm is applied to randomize the order of questions in the assessment feature. This study employed the Research and Development (R&D) method with the Waterfall development model, which includes the stages of requirements analysis, design, implementation, testing, and maintenance. Data collection was conducted through observation, interviews, and a literature review. Application testing was conducted using Black Box Testing to evaluate system functionality and the System Usability Scale (SUS) to measure the application's usability. The results show that the application was successfully developed using Unity and Vuforia on the Android platform. The implementation of Marker-Based Tracking successfully detected markers and displayed 3D geometric objects in real time, while the Fisher-Yates Shuffle successfully generated variations in the question order within the quiz feature. The results of the black-box testing showed that all of the application's main features functioned 100% in accordance with the test scenarios. Meanwhile, the results of the SUS test administered to 20 students yielded an average score of 78.0, which falls into the "Acceptable" category with a Grade B (Good) rating. Thus, the developed application has a good level of usability and can be used as an interactive learning tool to help students understand three-dimensional geometry concepts.

PENDAHULUAN

Pembelajaran bangun ruang tidak hanya membutuhkan penguasaan rumus, tetapi juga kemampuan menghubungkan gambar dua dimensi dengan struktur objek tiga dimensi. Hasil observasi dan wawancara di SMK Negeri 1 Jarai menunjukkan bahwa pembelajaran masih banyak menggunakan buku paket, lembar kerja, papan tulis, dan media visual dua dimensi. Kondisi tersebut membuat sebagian siswa kesulitan memvisualisasikan bentuk, unsur, dan sifat bangun ruang secara konkret serta membatasi keterlibatan aktif dalam proses pembelajaran.

Augmented Reality menawarkan cara untuk menempatkan objek virtual tiga dimensi ke dalam lingkungan nyata melalui kamera perangkat. Pada materi bangun ruang, visualisasi tersebut memungkinkan siswa mengamati objek dari sudut berbeda dan menghubungkan konsep abstrak dengan bentuk yang lebih nyata. Listiawan et al. (2022) serta Cindy et al. (2024) menunjukkan bahwa media berbasis Augmented Reality dapat digunakan pada pembelajaran bangun ruang dan memperoleh penilaian kelayakan yang baik.

Meskipun demikian, sebagian aplikasi pembelajaran Augmented Reality berfokus pada visualisasi dan belum mengintegrasikan mekanisme evaluasi yang mengurangi pola soal berulang. Pada sisi pelacakan, Marker-Based Tracking telah digunakan untuk mengenali penanda dan menempatkan objek virtual secara stabil pada perangkat mobile (Hadi Purwanto et al., 2022). Pada sisi evaluasi, Fisher-Yates Shuffle dapat menghasilkan permutasi urutan soal secara efisien sehingga setiap sesi kuis dapat menampilkan urutan berbeda (Arviansyah et al., 2020).

Gap penelitian tersebut mendorong penggabungan kedua algoritma dalam satu aplikasi pembelajaran. Marker-Based Tracking menangani interaksi visual dengan objek tiga dimensi, sedangkan Fisher-Yates Shuffle menangani variasi urutan soal. Integrasi ini memperluas fungsi aplikasi dari sekadar media demonstrasi menjadi sarana belajar yang menyediakan materi, eksplorasi Augmented Reality, dan evaluasi teracak dalam satu alur penggunaan.

Pengembangan menggunakan Unity dan Vuforia karena keduanya mendukung pengelolaan model tiga dimensi, kamera Augmented Reality, Image Target, dan pemrograman interaksi pada Android. Studi Al Husaeni et al. (2024) juga memperlihatkan penggunaan Unity dan Vuforia sebagai lingkungan pengembangan aplikasi Augmented Reality pendidikan. Dengan demikian, kebaruan penelitian bersifat integratif: menggabungkan visualisasi marker, manipulasi objek, materi, dan kuis acak pada konteks bangun ruang tingkat sekolah.

LANDASAN TEORI

Augmented Reality dan Marker-Based Tracking

Augmented Reality menggabungkan citra lingkungan nyata dengan objek digital yang dirender secara langsung. Dalam pendekatan Marker-Based Tracking, sistem menggunakan penanda visual sebagai referensi untuk mendeteksi posisi dan orientasi kamera terhadap objek virtual. Ketika marker terdeteksi, pose yang diperoleh digunakan untuk menempatkan model tiga dimensi secara konsisten. Hadi Purwanto et al. (2022) memperlihatkan bahwa metode tersebut sesuai untuk aplikasi pengenalan objek berbasis mobile, sementara Nurrizqa et al. (2025) merangkum marker-based sebagai pendekatan yang tetap relevan ketika kestabilan identifikasi target menjadi kebutuhan utama.

Fisher-Yates Shuffle

Fisher-Yates Shuffle mengacak elemen array dengan menukar elemen dari indeks terakhir menuju indeks awal menggunakan indeks acak pada rentang yang semakin mengecil. Cara ini menghindari pemilihan ulang yang tidak perlu dan menghasilkan variasi urutan yang merata. Pada aplikasi ini, algoritma diterapkan pada bank soal agar urutan pertanyaan berbeda pada setiap sesi evaluasi. Penerapan sejenis pada aplikasi tes juga menunjukkan bahwa algoritma dapat digunakan untuk mengacak soal secara efektif (Arviansyah et al., 2020).

for $i = n-1 \dots 1$: choose $j \in [0, i]$, then swap(question[i], question[j])

Setiap iterasi mengunci satu posisi setelah proses pertukaran, sehingga seluruh elemen memperoleh kesempatan yang setara untuk berada pada posisi tertentu.

Usability dan System Usability Scale

System Usability Scale digunakan untuk memperoleh penilaian ringkas terhadap kemudahan penggunaan melalui sepuluh pernyataan berskala lima poin. Skor setiap responden dikonversi ke rentang 0–100. Dalam penelitian ini, hasil rata-rata digunakan untuk menilai penerimaan aplikasi setelah pengguna mencoba fitur materi, Augmented Reality, dan kuis.

METODE PENELITIAN

Penelitian menggunakan Research and Development dengan pendekatan data campuran. Produk yang dikembangkan berupa aplikasi pembelajaran bangun ruang berbasis Augmented Reality untuk Android. Lokasi penelitian adalah SMK Negeri 1 Jarai, Kabupaten Lahat, Sumatera Selatan, dan kegiatan berlangsung Januari–Agustus 2026. Guru matematika dilibatkan dalam penggalan kebutuhan dan validasi, sedangkan pengujian usability dilakukan terhadap 20 siswa.

Model pengembangan menggunakan Waterfall dengan tahap requirements analysis, system design, implementation, testing, dan maintenance. Pada tahap analisis, observasi digunakan untuk memetakan proses pembelajaran dan keterbatasan media yang tersedia. Wawancara semi-terstruktur dengan guru matematika digunakan untuk memperoleh kebutuhan materi, bentuk interaksi, dan aspek penggunaan yang perlu disediakan aplikasi. Studi literatur mendukung pemilihan teknologi Augmented Reality, algoritma tracking, dan mekanisme pengacakan soal.

Tabel 1. Tahapan Model Pengembangan Waterfall

Tahap	Aktivitas Utama
Requirements Analysis	Observasi, wawancara, dan identifikasi kebutuhan
System Design	Arsitektur, antarmuka, marker, algoritma, dan aliran data
Implementation	Pengembangan Unity, C#, Vuforia, dan integrasi model tiga dimensi

Tahap	Aktivitas Utama
Testing	Black-box testing dan System Usability Scale
Maintenance	Perbaikan dan pengembangan berdasarkan evaluasi

Perancangan sistem mencakup arsitektur kamera-Vuforia-Unity, pipeline deteksi marker, logika Fisher-Yates, aliran data, penyimpanan materi dan bank soal, serta antarmuka. Vuforia Image Target digunakan sebagai basis Marker-Based Tracking. Frame kamera diproses untuk mendeteksi fitur marker, menghasilkan pose, dan mengirimkan transformasi ke Unity sehingga objek tiga dimensi dapat dirender pada posisi yang sesuai.

Pada fitur evaluasi, kumpulan soal ditempatkan dalam array. Fisher-Yates Shuffle melakukan iterasi mundur dari elemen terakhir, membangkitkan indeks acak pada rentang 0 hingga indeks aktif, lalu menukar kedua elemen. Array hasil pengacakan menjadi urutan soal yang ditampilkan kepada pengguna. Mekanisme tersebut dijalankan sebelum sesi kuis dimulai sehingga urutan tidak bergantung pada pola tetap.

Implementasi menggunakan Unity 2022 LTS, Vuforia Engine, C#, Android Software Development Kit, serta model tiga dimensi yang disiapkan dengan perangkat lunak pendukung. Aplikasi ditujukan untuk Android 7.0 atau lebih tinggi. Marker fisik digunakan sebagai Image Target, sedangkan data materi dan soal disimpan secara lokal agar fitur utama dapat dijalankan tanpa basis data relasional eksternal.

Tabel 2. Perangkat Utama Pengembangan dan Pengujian

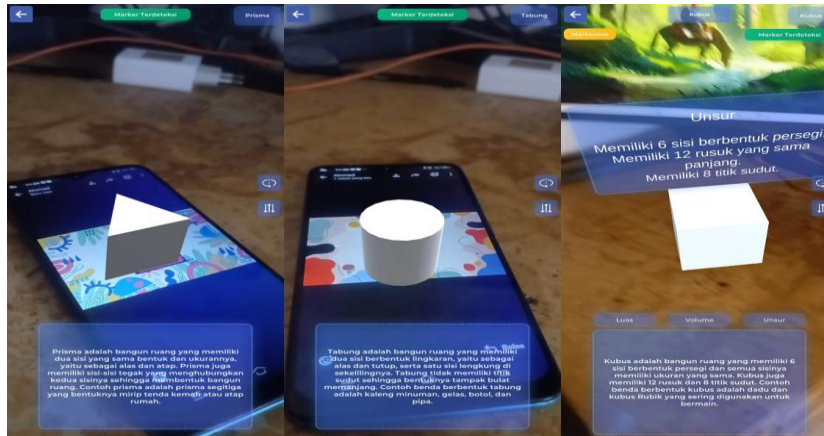
Komponen	Spesifikasi/Keterangan
Laptop pengembangan	Intel Core i5 generasi ke-11, RAM 16 GB, GeForce GTX 1650, SSD 512 GB
Smartphone Android	Octa-Core, RAM 4 GB, kamera minimal 13 MP, Android 7.0 atau lebih tinggi
Marker	Image Target 10 × 10 cm
Unity	Versi 2022 LTS
Vuforia Engine	Versi 10.x
Android SDK dan JDK	Lingkungan build Android
Blender	Versi 3.x untuk model tiga dimensi
Windows	Windows 11

Pengujian fungsional menggunakan black-box testing terhadap sembilan fitur utama. Setiap fitur diberi skenario input dan keluaran yang diharapkan. Usability diukur dengan System Usability Scale setelah 20 siswa menggunakan aplikasi. Skor rata-rata dihitung dari sepuluh item SUS dan diinterpretasikan berdasarkan kategori penerimaan dan grade yang digunakan dalam penelitian.

HASIL DAN PEMBAHASAN

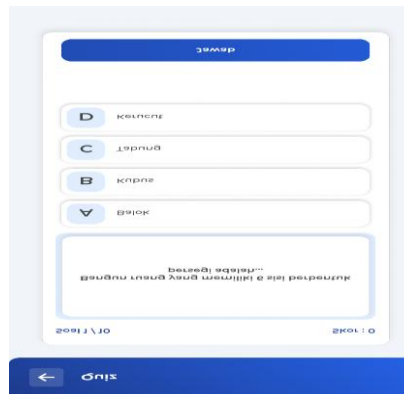
Hasil

Aplikasi berhasil menyediakan halaman awal, dashboard, materi, pemilihan objek Augmented Reality, deteksi marker, kontrol objek tiga dimensi, kuis, panduan, dan halaman informasi. Pada mode Augmented Reality, kamera mendeteksi marker dan Vuforia mengirimkan data pose ke Unity untuk menampilkan model bangun ruang. Objek dapat diputar dan diberi animasi naik-turun, sedangkan antarmuka kontrol disembunyikan ketika marker tidak lagi terdeteksi.



Gambar 1. Implementasi Deteksi Marker dan Visualisasi Objek Tiga Dimensi

Fisher-Yates Shuffle berhasil diterapkan pada modul kuis. Sebelum pertanyaan ditampilkan, array soal diacak sehingga pengguna tidak menerima urutan yang selalu sama. Setelah seluruh soal dijawab, aplikasi menampilkan skor akhir, jumlah jawaban benar, dan jumlah jawaban salah.



Gambar 2. Antarmuka Kuis dengan Urutan Soal yang Diacak

Tabel 3. Ringkasan Hasil Pengujian Black-Box

No	Fitur	Hasil
1	Halaman awal	Berhasil
2	Menu utama	Berhasil
3	Materi dan penjelasan	Berhasil
4	Deteksi marker Augmented Reality	Berhasil
5	Kontrol objek tiga dimensi	Berhasil
6	Penanganan marker hilang	Berhasil
7	Kuis dan evaluasi	Berhasil
8	Panduan aplikasi	Berhasil
9	Halaman tentang	Berhasil

Seluruh sembilan skenario black-box memperoleh status berhasil. Dengan demikian, keberhasilan fungsional mencapai 100% untuk fitur yang diuji, termasuk respons terhadap marker yang hilang. Hasil ini penting karena keandalan interaksi Augmented Reality tidak hanya ditentukan

oleh keberhasilan menampilkan objek, tetapi juga oleh kemampuan sistem mempertahankan perilaku antarmuka yang benar ketika kondisi tracking berubah.

Pengujian System Usability Scale terhadap 20 siswa menghasilkan skor antara 72,5 dan 82,5 dengan rata-rata 78,0. Nilai tersebut berada pada kategori Acceptable dan Grade B (Good). Ringkasan hasil pengujian disajikan pada Tabel 2.

Tabel 4. Ringkasan Pengujian System Usability Scale

Jumlah Responden	Skor Minimum	Skor Maksimum	Rata-rata	Interpretasi
20 siswa	72,5	82,5	78,0	Acceptable; Grade B (Good)

Tabel 5. Skor System Usability Scale Tiap Responden

Responden	Skor SUS	Responden	Skor SUS
1	75,0	11	75,0
2	77,5	12	80,0
3	77,5	13	80,0
4	77,5	14	80,0
5	77,5	15	75,0
6	77,5	16	77,5
7	72,5	17	80,0
8	80,0	18	82,5
9	80,0	19	75,0
10	77,5	20	82,5

Pembahasan

Hasil fungsional menunjukkan bahwa Marker-Based Tracking dapat menjadi mekanisme visualisasi yang stabil untuk materi bangun ruang selama marker berada dalam kondisi yang dapat dibaca kamera. Temuan ini searah dengan Hadi Purwanto et al. (2022), yang memanfaatkan marker untuk memunculkan objek Augmented Reality, dan dengan Al Husaeni et al. (2024) mengenai integrasi Unity-Vuforia. Dalam konteks pembelajaran, kontribusi utama bukan hanya kemunculan objek tiga dimensi, tetapi keterhubungan antara materi teks, eksplorasi objek, dan navigasi yang dapat diakses melalui satu aplikasi.

Penggunaan Fisher-Yates Shuffle menambah variasi pada evaluasi. Tanpa pengacakan, urutan soal yang tetap berpotensi mendorong pengguna mengingat posisi pertanyaan daripada memproses isi. Algoritma ini menghasilkan urutan baru melalui pertukaran elemen tanpa membentuk duplikasi soal, sejalan dengan penerapan pengacakan pada sistem evaluasi yang dibahas Arviansyah et al. (2020). Integrasi tersebut menjadi pembeda dibandingkan sebagian penelitian Augmented Reality bangun ruang yang berfokus pada visualisasi namun belum menggabungkan pengacakan evaluasi.

Skor SUS 78,0 menunjukkan tingkat penerimaan yang baik, tetapi bukan berarti seluruh aspek penggunaan sudah optimal. Nilai tersebut harus dibaca bersama keterbatasan teknis yang ditemukan selama pengujian. Deteksi marker bergantung pada pencahayaan yang cukup dan kamera dengan kemampuan fokus yang memadai. Ketika citra marker kehilangan detail, ekstraksi fitur menjadi lebih sulit sehingga kestabilan tracking dapat menurun.

Hasil ini mendukung temuan Listiawan et al. (2022) dan Cindy et al. (2024) bahwa Augmented Reality dapat dikembangkan sebagai media bangun ruang yang layak digunakan. Penelitian ini

memperluas pendekatan tersebut dengan menguji usability secara langsung pada 20 siswa serta menggabungkan evaluasi soal teracak. Secara konseptual, perpaduan visualisasi tiga dimensi dan kuis memberikan dua bentuk interaksi yang berbeda: eksplorasi spasial dan pengukuran pemahaman.

Kebaruan logis penelitian terletak pada integrasi Marker-Based Tracking dan Fisher-Yates Shuffle dalam satu media pembelajaran mobile. Namun, penelitian belum menguji peningkatan hasil belajar melalui desain eksperimen sebelum-sesudah atau perbandingan kelompok. Karena itu, skor SUS menegaskan usability dan penerimaan, bukan bukti kausal bahwa aplikasi meningkatkan nilai akademik. Penelitian lanjutan dapat menambahkan pengukuran learning gain, memperluas jumlah sekolah, serta membandingkan marker-based dengan markerless tracking.

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Aplikasi pembelajaran bangun ruang berbasis Augmented Reality berhasil dikembangkan menggunakan Unity dan Vuforia pada platform Android. Marker-Based Tracking mampu mendeteksi marker dan menampilkan objek tiga dimensi secara real-time, sementara Fisher-Yates Shuffle berhasil menghasilkan variasi urutan soal pada fitur kuis. Kesembilan fitur utama yang diuji melalui black-box testing berjalan sesuai skenario sehingga keberhasilan fungsional mencapai 100%. Pengujian System Usability Scale terhadap 20 siswa menghasilkan rata-rata 78,0 yang termasuk kategori Acceptable dengan Grade B (Good). Hasil tersebut menjawab tujuan penelitian bahwa kedua algoritma dapat diintegrasikan dalam media pembelajaran yang berfungsi dan memiliki usability yang baik. Keterbatasan sistem terletak pada ketergantungan terhadap pencahayaan, kualitas fokus kamera, dan pengujian yang masih terbatas pada Android serta belum mengukur dampak langsung terhadap capaian belajar.

Saran

Pengembangan berikutnya dapat mengeksplorasi markerless tracking seperti plane detection agar objek tidak bergantung pada marker fisik, menambahkan penyesuaian pencahayaan dan fokus kamera, memperkaya bentuk bangun ruang serta animasi jaring-jaring, dan memperluas distribusi aplikasi. Dari sisi penelitian, perlu dilakukan uji efektivitas pembelajaran dengan kelompok pembanding, sampel yang lebih besar, serta pengujian lintas perangkat dan sistem operasi untuk memperoleh bukti yang lebih kuat mengenai kontribusi aplikasi terhadap pemahaman spasial siswa.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdul Wahid, A. (2020). Analisis metode Waterfall untuk pengembangan sistem informasi. *Jurnal Ilmu-Ilmu Informatika dan Manajemen STMIK*, 1–5.
- Al Huseani, D. N., Munir, M., & Rasim, R. (2024). How to create augmented reality applications using Unity and Vuforia Engine to teach basic algorithm. *Indonesian Journal of Teaching in Science*, 4(2), 189–204.
- Ariefka, R., Fauziah, R. N., & Saputri, A. (2023). Augmented Reality in solar system learning at primary school level in Indonesia: A systematic literature review. *Al-Marshad: Jurnal Astronomi Islam dan Ilmu-Ilmu Berkaitan*, 9(2).
<https://jurnal.umsu.ac.id/index.php/almarshad/article/view/16504>
- Arviansyah, Y., Nurfaizah, N., & Waluyo, R. (2020). Penerapan algoritma Fisher Yates Shuffle pada aplikasi TOEFL preparation berbasis web. *Jurnal Buana Informatika*, 11(2), 112–122.
<https://doi.org/10.24002/jbi.v11i2.3622>
- Arwanto, M. M. M., Assiroj, P., & Trinata, C. (2025). Systematic literature review pemanfaatan teknologi augmented reality sebagai media pembelajaran. *Pendas: Jurnal Ilmiah Pendidikan Dasar*, 10(2). <https://doi.org/10.23969/jp.v10i02.26693>

- Bagus Satria, Imron, & Br Barus, M. D. (2023). The comparison of tracking methods using QR code marker and texture marker on augmented reality application. *International Journal of Economic, Technology and Social Sciences (Injects)*, 3(2), 356–364. <https://doi.org/10.53695/injects.v3i2.855>
- Chairunnisa, C., Sarifah, I., & Sutrisno, S. (2023). Pengembangan media augmented reality berbasis Android pada pembelajaran IPA kelas V sekolah dasar. *Jurnal Pendidikan Dasar*, 11(2), 281–297. <https://doi.org/10.46368/jpd.v11i2.885>
- Cindy, Tarigan, I. J., & Alasi, T. S. (2024). Perancangan aplikasi media pembelajaran matematika bangun ruang berbasis augmented reality untuk siswa sekolah dasar. *Jurnal TIMES*, 13(2), 150–166. <https://doi.org/10.51351/jtm.13.2.2024782>
- Hadi Purwanto, I., Makhasin, Z., Irsyad, S., & Zulfi Ardiyanto, F. (2022). Analisis teknik marker based tracking sebagai media pengenalan rumah adat di Indonesia berbasis augmented reality. *Smart Comp*, 11(1), 71–75. <https://doi.org/10.30591/smartcomp.v11i1.3190>
- Indahsari, L., & Sumirat, S. (2023). Implementasi teknologi augmented reality dalam pembelajaran interaktif. *Cognoscere: Jurnal Komunikasi dan Media Pendidikan*, 1(1), 7–11. <https://doi.org/10.61292/cognoscere.v1i1.20>
- Koumpouros, Y. (2024). Revealing the true potential and prospects of augmented reality in education. *Smart Learning Environments*, 11, Article 2. <https://doi.org/10.1186/s40561-023-00288-0>
- Lampropoulos, G., Keramopoulos, E., Diamantaras, K., & Evangelidis, G. (2022). Augmented reality and gamification in education: A systematic literature review of research, applications, and empirical studies. *Applied Sciences*, 12(13), Article 6809. <https://doi.org/10.3390/app12136809>
- Li, G., Luo, H., Chen, D., Wang, P., Yin, X., & Zhang, J. (2025). Augmented reality in higher education: A systematic review and meta-analysis of the literature from 2000 to 2023. *Education Sciences*, 15(6), Article 678. <https://doi.org/10.3390/educsci15060678>
- Listiawan, T., Hayuningrat, S., & Anwar, M. K. (2022). Pengembangan media pembelajaran berbasis augmented reality pada materi bangun ruang. *JP2M: Jurnal Pendidikan dan Pembelajaran Matematika*, 8(2), 1–10. <https://doi.org/10.29100/jp2m.v8i2.3637>
- Nurritzqa, N., Nurrisma, N., & Zulfia, A. (2025). Rangkuman penggunaan metode marker based tracking dan markerless pada aplikasi augmented reality. *Cyberspace: Jurnal Pendidikan Teknologi Informasi*, 9(2), 64–74.
- Nurfaidah, N., Pujiastuti, E., Cahyono, A. N., & Sugiman, S. (2023). Systematic literature review: Penggunaan augmented reality (AR) pada pembelajaran matematika. *PRISMA*, 12(2), 380–389. <https://doi.org/10.35194/jp.v12i2.3291>
- Repiliya, & Afriyudi. (2023). Media belajar dengan menerapkan augmented reality dengan menggabungkan metode marker based dan markerless. *JUPITER: Jurnal Penelitian Ilmu dan Teknologi Komputer*, 15(1a), 187–196. <https://doi.org/10.5281/5260/15.jupiter.2023.04>
- Sartono, K. E., & Laisaroh, A. (2022). Augmented reality-based textbook innovation as learning media for learning from home. *Jurnal Kependidikan: Penelitian Inovasi Pembelajaran*, 6(1). <https://doi.org/10.21831/jk.v6i1.39893>
- Upadhyay, B., Brady, C., Madathil, K. C., Bertrand, J., & Gramopadhye, A. (2023). Collaborative augmented reality in higher education settings—Strategies, learning outcomes and challenges. *Proceedings of the ASEE Annual Conference & Exposition*. <https://doi.org/10.1177/21695067231192199>
- Yusa, I. W., Wulandari, A. Y. R., Tamam, B., Rosidi, I., Yasir, M., & Setiawan, A. Y. B. (2023). Development of augmented reality (AR) learning media to increase student motivation and learning outcomes in science. *Jurnal Inovasi Pendidikan IPA*, 9(2), 127–145. <https://doi.org/10.21831/jipi.v9i2.52208>