

# Pengembangan Media Pembelajaran Augmented Reality (AR) Pada Materi Vulkanologi

Afansyah Rayhan Anwar<sup>1</sup>, Hardian Oktavianto<sup>2</sup>, Moh. Dasuki<sup>3</sup>, Ilham Saifudin<sup>4</sup>, Habibatul Azizah Al Faruq<sup>5</sup>

<sup>1,2,3,4,5</sup> Teknik Informatika Universitas Muhammadiyah Jember, Jember, Indonesia

Corresponding author: 03.afansyahrayhan@gmail.com

**Article Information:** submission received 10 February 2026; revision: 20 February 2026; accepted 4 march 2026; first published online 8 March 2026

## Abstrak

Penelitian ini berfokus untuk mengembangkan media pembelajaran Augmented Reality (AR) berbasis android. Penggunaan AR sebagai media pembelajaran diharapkan dapat membuat kegiatan pembelajaran lebih interaktif dan bermakna. Struktur dan benetuk gunung berapi atau vulkan dipilih sebagai materi untuk pengembangan media pembelajaran AR. Materi ini dipilih karena kompleksitas dan keabstrakan objek yang dipelajari sehingga diperlukan media pembelajaran yang dapat memproyeksikan objek tersebut menjadi lebih konkret. Aplikasi ini dibangun dengan menggunakan software Unity 3D. Cara kerja yang digunakan dalam aplikasi Augmented reality adalah dengan mendeteksi citra atau gambar yang disebut marker, selanjutnya untuk mendeteksi marker yang telah dicetak dapat menggunakan kamera smartphone. Penelitian ini didesain dengan menggunakan metode ADDIE (Analysis, Design, Development, Implementation Evaluation). Subjek pengujian media terdiri dari 36 peserta didik di salah satu sekolah jenjang SMA. Metode pengumpulan data yang digunakan untuk menguji efektivitas media adalah kuisisioner dan wawancara. Sedangkan evaluasi data dilakukan dengan metode kuantitatif. Berdasarkan hasil evaluasi diketahui bahwa media AR efektif diimplementasikan dalam pembelajaran. Hasil analisis kuisisioner dan wawancara menunjukkan bahwa sebesar 91,4% peserta didik menyatakan ketertarikan terhadap media pembelajaran AR yang dikembangkan. Sebagian besar peserta didik juga merasa bahwa kegiatan pembelajaran menjadi lebih interaktif dan menyenangkan.

**Keywords:** Augmented Reality, Android, Marker, Unity3D, Vulkanologi

## 1. PENDAHULUAN

Perkembangan Revolusi Industri 4.0 dan transformasi digital telah mendorong perubahan signifikan dalam praktik pendidikan, khususnya dalam integrasi teknologi sebagai media pembelajaran (Ho et al., 2024; Suleiman et al., 2022). Guru tidak lagi hanya berperan sebagai penyampai materi, tetapi sebagai fasilitator yang mampu mengoptimalkan teknologi untuk meningkatkan keterlibatan dan pemahaman siswa (Markauskaite et al., 2023). Meskipun demikian, inovasi media pembelajaran pada mata pelajaran geografi masih relatif

terbatas dan didominasi oleh penggunaan gambar dua dimensi, video, serta modul cetak yang kurang interaktif (Astuti et al., 2024; Nurajizah et al., 2025). Kondisi ini berdampak pada pembelajaran yang cenderung berorientasi hafalan dan belum sepenuhnya mendukung pemahaman konseptual yang mendalam, terutama pada materi geografi fisik yang bersifat spasial dan abstrak (Denura & Herdiana, 2024; Rasimin et al., 2024).

Permasalahan tersebut semakin terlihat pada materi vulkanologi, khususnya topik struktur dan bentuk gunung berapi. Materi ini menuntut kemampuan visual-spasial yang kuat, namun dalam praktiknya masih disajikan melalui ilustrasi dua dimensi yang kurang representatif. Studi pendahuluan di salah satu SMA di Kabupaten Jember menunjukkan bahwa sekitar 75% peserta didik memiliki kecenderungan gaya belajar visual, tetapi kebutuhan tersebut belum terakomodasi secara optimal oleh media pembelajaran yang digunakan. Akibatnya, banyak siswa mengalami kesulitan membedakan karakteristik gunung strato, gunung perisai, dan gunung maar, yang tercermin dari rendahnya capaian hasil belajar secara klasikal. Kesenjangan antara karakteristik materi vulkanologi yang membutuhkan visualisasi konkret dengan penggunaan media konvensional menunjukkan adanya kebutuhan mendesak terhadap inovasi media pembelajaran yang lebih interaktif dan representatif.

Salah satu teknologi yang berpotensi menjawab kebutuhan tersebut adalah Augmented Reality (AR), yang memungkinkan integrasi objek virtual tiga dimensi ke dalam lingkungan nyata secara real-time dan interaktif. Berbagai penelitian internasional terbaru menunjukkan bahwa AR secara signifikan meningkatkan pemahaman spasial, motivasi belajar, serta hasil belajar geografi dibandingkan media tradisional (Budirahayu & Saud, 2023; Rasimin et al., 2024; Wijayanto et al., 2023). Studi lain juga melaporkan bahwa AR mampu meningkatkan kemampuan orientasi spasial dan keterlibatan siswa dalam pembelajaran geografi melalui visualisasi 3D yang imersif (Wibawanto & Maulana, 2025; Seviana et al., 2023). Namun demikian, implementasi AR pada materi vulkanologi masih terbatas dan belum banyak diuji secara empiris. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan mengembangkan media pembelajaran Augmented Reality berbasis Android pada materi vulkanologi serta mengevaluasi efektivitasnya dalam meningkatkan pemahaman dan ketertarikan belajar peserta didik, sehingga dapat memberikan kontribusi pada pengembangan inovasi pembelajaran geografi berbasis teknologi imersif.

## **2. STUDI PUSTAKA**

Augmented Reality (AR) merupakan teknologi yang mampu memadukan objek virtual dua dimensi maupun tiga dimensi ke dalam lingkungan nyata secara harmonis, serta menampilkannya secara langsung dan interaktif. Teknologi ini memiliki keunggulan dalam menghadirkan pengalaman belajar yang lebih imersif, sehingga membantu peserta didik dalam memahami materi pembelajaran secara lebih jelas. Pemanfaatan Augmented Reality juga mampu meningkatkan ketertarikan belajar, menciptakan suasana pembelajaran yang

lebih menarik, serta mengurangi kejenuhan dalam proses memahami materi (Paramita et al., 2021).

Teknologi Augmented Reality memiliki 3 karakteristik, yaitu: 1) berperan untuk menggabungkan dunia nyata dan dunia maya; 2) menampilkan informasi lebih interaktif dan kekinian, dan; 3) memproyeksikan informasi secara 3 dimensi. AR merupakan teknologi yang menggabungkan visual dalam dunia digital dengan dunia nyata dan memproyeksikannya secara nyata.

Berdasarkan implementasinya, teknologi AR terbagi menjadi 4 diantaranya: 1) Markerless Augmented Reality; 2) Superimposition Based Augmented Reality; 3) Marker Based Augmented Reality, dan; 4) User-defined Markerless Augmented Reality. Pada penelitian ini jenis AR yang dikembangkan adalah User-defined Markerless Augmented Reality. AR jenis ini memberikan kemudahan bagi user berinteraksi secara langsung dengan dunia nyata dengan memanfaatkan smartphone. Dalam proses pengembangannya, setidaknya terdapat 4 software yang diperlukan, diantaranya:

#### A. Unity 3D

Unity 3D merupakan perangkat untuk membuat aplikasi berupa teknologi grafis, physics, audio, networking, dan interaction. Unity 3D memiliki keunggulan dalam menginterpretasikan objek berupa gambar grafik dua dimensi maupun tiga dimensi.

#### B. Blender 3 Dimensi (3D)

Aplikasi blender digunakan dalam pemodelan animasi tiga dimensi. Program ini dapat menjalankan berbagai hal diantaranya: 1) pemodelan objek 3 dimensi; 2) membuat animasi bergerak; 3) dapat digunakan dalam editing video profesional, dan; 4) tersedia fasilitas pengembangan game engine.

#### C. Vuforia

Vuforia merupakan perangkat mobile yang digunakan untuk pengaplikasian AR. Vuforia juga menyediakan unity yang bernama Vuforia AR Extension for Unity. Vuforia diciptakan oleh Perusahaan Qualcomm untuk membantu para developer dalam membuat aplikasi berbasis AR pada smartphones.

#### D. Marker Based Tracking

Marker merupakan aplikasi yang didalamnya berisi kumpulan koding tertentu untuk mempermudah pekerjaan berbasis komputasi sebagai parameter dalam pembuatan AR. Marker umumnya berupa penanda berwarna yang digunakan untuk mengenali objek kaitannya dengan posisi kamera. Pada penelitian ini ukuran marker yang digunakan adalah 631 x 634 pixel.

*Augmented Reality* merupakan teknologi yang mengintegrasikan objek virtual ke dalam lingkungan nyata secara *real-time* dan interaktif. Dalam pendidikan khususnya geografi, AR terbukti mampu meningkatkan motivasi belajar, keterlibatan siswa, serta pemahaman konseptual melalui visualisasi tiga dimensi (Rus & Sita, 2025; Schmidt & Stumpe, 2025; Volioti et al., 2022). Namun demikian, sebagian besar penelitian masih berfokus pada mata pelajaran

eksakta. Studi mengenai implementasi AR pada pembelajaran geografi, khususnya materi vulkanologi, masih terbatas dan belum banyak membahas efektivitasnya terhadap pemahaman spasial siswa. Penelitian ini berkontribusi dengan menghadirkan AR sebagai solusi visualisasi morfologi gunung berapi secara interaktif.

Pemanfaatan AR dalam penelitian ini didasarkan pada dua teori utama:

a. Teori Konstruktivisme

Menurut teori konstruktivisme, belajar merupakan proses aktif membangun pengetahuan melalui pengalaman langsung (Awang et al., 2022; Hsbollah & Hassan, 2022). AR memungkinkan siswa melakukan eksplorasi objek 3D, mengamati struktur gunung berapi dari berbagai sudut, dan membangun pemahaman secara mandiri. Interaksi ini mendukung pembelajaran bermakna (*meaningful learning*).

b. Teori Multisensory Learning

Teori multisensori menyatakan bahwa pembelajaran akan lebih efektif ketika melibatkan lebih dari satu indera (Fan et al., 2024; Gori et al., 2022; Seidl et al., 2024). AR menggabungkan visual, gerak, dan interaksi kinestetik melalui perangkat *smartphone*, sehingga memperkuat proses *encoding* informasi dalam memori jangka panjang.

Dengan demikian, penggunaan AR dalam pembelajaran vulkanologi memiliki landasan teoretis yang kuat serta relevan dengan karakteristik materi geografi yang bersifat spasial dan visual.

### 3. METHOD

Penelitian ini termasuk ke dalam kategori penelitian pengembangan. Penelitian ini berfokus pada pengembangan media pembelajaran Augmented Reality berbasis android. Adapun metode penelitian yang digunakan adalah metode ADDIE (Analysis, Design, Development, Implementation Evaluation). Metode ini memiliki tahapan sebagai berikut.



Gambar 1. Metodologi

A. Analisis (Analysis)

Tahap ini dimulai dengan studi pendahuluan di salah satu sekolah jenjang SMA di Kabupaten Jember. Studi pendahuluan dilakukan dengan menganalisis hasil belajar materi geografi dan melakukan wawancara dengan guru di sekolah tersebut.

Selanjutnya, peneliti mengidentifikasi kebutuhan media pembelajaran dengan memperhatikan karakteristik dan kebutuhan belajar siswa.

B. Desain (Design)

Pada tahap ini, peneliti menentukan materi serta mendesain kebutuhan media belajar yang diperlukan untuk kegiatan pembelajaran. Penentuan materi dan media didasarkan pada hasil wawancara pada studi pendahuluan.

C. Pengembangan (Development)

Pada tahap ini, peneliti mulai membuat media belajar Augmented Reality (AR) berbasis android.

D. Implementasi (Implementation)

Setelah media pembelajaran selesai dikembangkan, peneliti berkolaborasi dengan guru mengimplementasikan media dalam kegiatan pembelajaran. Pengujian media dilakukan di salah satu kelas XII yang dipilih secara acak di sekolah tempat studi pendahuluan dilaksanakan. Kelas terdiri 36 siswa dengan kemampuan dan gaya belajar heterogen.

E. Evaluasi (Evaluation)

Tahap terakhir evaluasi, tahap ini peneliti memberikan angket atau kuesioner dalam bentuk google form ke sejumlah peserta didik setelah menggunakan media belajar. Analisis data dilakukan dengan metode kuantitatif. Data disajikan dalam bentuk frekuensi relatif (mencari persentase) dengan menggunakan tabel distribusi frekuensi diagram batang.

Instrumen ini mengukur tiga variabel utama yaitu Pemahaman Materi, Ketertarikan dan Motivasi Belajar, Interaktivitas dan Kualitas Media.

Tabel 1. Instrumen Kuesioner

| N<br>o                                    | Pernyataan                                                                              | S | S | T | ST |
|-------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------|---|---|---|----|
|                                           |                                                                                         | S |   | S | S  |
| <b>Aspek Pemahaman Materi Vulkanologi</b> |                                                                                         |   |   |   |    |
| 1                                         | Media AR membantu saya memahami bentuk gunung berapi dengan lebih jelas                 |   |   |   |    |
| 2                                         | Visualisasi 3D mempermudah saya membedakan jenis gunung (maar, strato, perisai)         |   |   |   |    |
| 3                                         | Saya lebih mudah memahami struktur internal gunung berapi melalui AR                    |   |   |   |    |
| 4                                         | Setelah menggunakan AR, saya lebih percaya diri menjawab pertanyaan tentang vulkanologi |   |   |   |    |
| 5                                         | Materi menjadi lebih konkret dibandingkan hanya menggunakan buku/modul                  |   |   |   |    |
| <b>Aspek Ketertarikan dan Motivasi</b>    |                                                                                         |   |   |   |    |
| 6                                         | Pembelajaran dengan AR lebih menarik dibandingkan metode biasa                          |   |   |   |    |

- 7 Saya merasa lebih semangat belajar saat menggunakan AR
- 8 Saya ingin media AR digunakan pada materi geografi lainnya
- 9 Penggunaan AR membuat pembelajaran tidak membosankan
- 10 Saya merasa pembelajaran menjadi lebih menyenangkan

#### **Aspek Interaktivitas dan Kualitas Media**

- 11 Aplikasi AR mudah digunakan
- 12 Marker dapat dideteksi dengan cepat oleh kamera
- 13 Objek 3D terlihat jelas dan proporsional
- 14 Fitur rotasi dan zoom membantu eksplorasi objek
- 15 Saya tidak mengalami kendala teknis saat menggunakan aplikasi

Tabel 2 Instrumen Wawancara

| No                                        | Pertanyaan                                                                 |
|-------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------|
| <b>Aspek Pemahaman Konseptual</b>         |                                                                            |
| 1                                         | Bagaimana perbandingan pemahaman siswa sebelum dan sesudah menggunakan AR? |
| 2                                         | Apakah siswa lebih mudah menjelaskan perbedaan jenis gunung berapi?        |
| 3                                         | Apakah terjadi peningkatan kualitas jawaban saat sesi refleksi?            |
| <b>Aspek Keterlibatan dan Partisipasi</b> |                                                                            |
| 4                                         | Bagaimana tingkat keaktifan siswa selama pembelajaran menggunakan AR?      |
| 5                                         | Apakah siswa lebih banyak bertanya atau berdiskusi?                        |
| 6                                         | Bagaimana respon siswa secara umum terhadap media ini?                     |
| <b>Aspek Efektivitas Media</b>            |                                                                            |
| 7                                         | Apakah media AR membantu menjelaskan konsep yang sebelumnya sulit?         |
| 8                                         | Bagaimana kemudahan implementasi media dalam kelas?                        |
| 9                                         | Apakah terdapat kendala teknis selama penggunaan?                          |
| <b>Refleksi dan Rekomendasi</b>           |                                                                            |
| 10                                        | Apakah media ini layak diterapkan pada materi geografi lainnya?            |
| 11                                        | Saran pengembangan untuk versi berikutnya?                                 |
| 12                                        | Bagaimana potensi penggunaan AR dalam jangka panjang?                      |

#### **4. HASIL DAN PEMBAHASAN**

Berdasarkan hasil rancangan aplikasi yang telah dibuat, aplikasi ini dapat membantu dalam proses belajar mengajar pada materi vulkanologi dengan fitur utama berupa

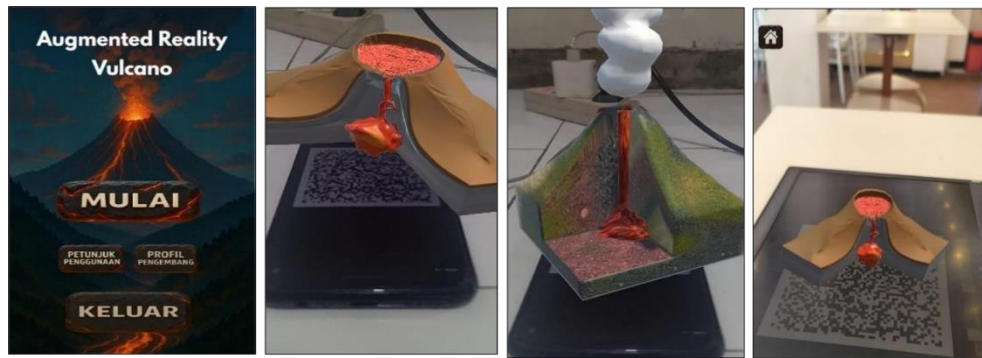
pengenalan 4 objek AR, diantaranya gunung maar, gunung strato, dan gunung perisai. Selain itu, terdapat pula fitur visual 3D interaktif yang memuat animasi gunung yang peka terhadap gesture perangkat yang digunakan. Namun demikian terdapat beberapa persyaratan yang harus dipenuhi untuk menginstall dan menggunakan aplikasi ini, diantaranya: 1) menggunakan perangkat android dengan seri 11 atau lebih baru; 2) kamera belakang yang berfungsi dengan baik; 3) menggunakan sensor giroskop/IMU untuk stabilitas AR, dan; 4) mengosongkan ruang penyimpanan sebesar  $\geq 200$  MB.

Sebelum dipublikasikan, aplikasi telah melewati uji fungsional untuk memastikan fitur-fiturnya berfungsi dengan baik. Tabel 1 menunjukkan hasil uji fungsional pada visual objek 3D interaktif.

Tabel 1. Hasil Uji Fungsional

| Objek           | Hasil                                                                |
|-----------------|----------------------------------------------------------------------|
| Gunung Maar     | Marker dikenali < 2 detik; model muncul proposional; info teks benar |
| Gunung Strato   | Stabil dalam 30 detik pemindaian; rotasi/zoom berjalan               |
| Gunung Perisai  | Permukaan halus; teks ciri sesuai materi; tidak crash                |
| Struktur Gunung | Label komponen struktur tampil; orientasi sesuai marker              |

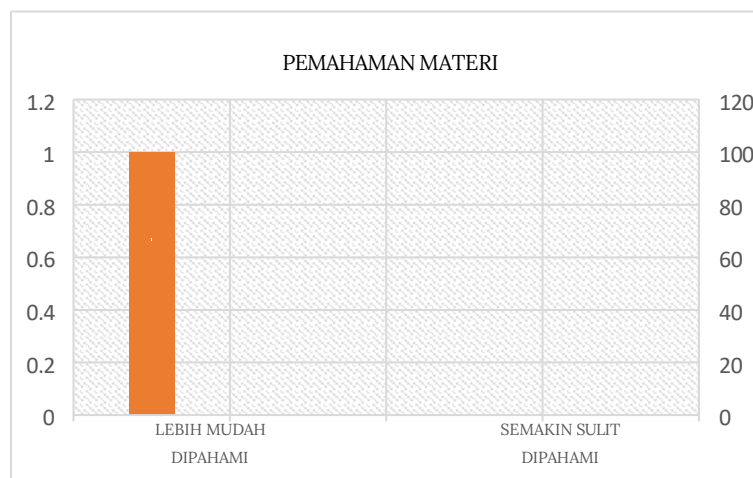
Tampilan awal aplikasi terdiri dari beberapa menu diantaranya, menu “petunjuk penggunaan” sebagai langkah-langkah penggunaan aplikasi, lalu menu “mulai” sebagai menu utama visual 3D interaktif yang jika ditekan akan otomatis membuka kamera untuk menampilkan visual 3D objek dari barcode yang disediakan. Pada masing-masing objek gunung, disediakan barcode yang berbeda untuk menunjukkan perbedaan antar objek, sehingga pengguna dapat dengan mudah menganalisa objek tersebut. Setelah menyelesaikan percobaan, pengguna dapat menekan tombol home yang berada di pojok kiri atas untuk kembali ke menu awal. Menu terakhir adalah “profil pengembang” yang berisi informasi biodata pembuat aplikasi AR vulcano dan menu “keluar” untuk menutup aplikasi. Dengan demikian, aplikasi siap digunakan oleh pengguna. Gambar 1 merupakan tangkapan layar dari aplikasi AR yang telah dikembangkan.



Gambar 1. Tampilan Aplikasi

Dari hasil uji fungsional, fitur objek 3D dapat muncul secara proporsional dengan teks yang sesuai. Marker dapat dikenali dengan cepat oleh kamera hanya dalam waktu kurang dari 2 detik dan stabil selama 30 detik. Hal ini menunjukkan bahwa aplikasi AR dapat berfungsi dengan baik untuk menampilkan objek 3D. Berikut merupakan tampilan dari aplikasi AR yang telah dibuat menggunakan Unity, Blender 3D, dan Android Studio. Adapun beberapa keterbatasan dari aplikasi ini adalah, jarak sorot kamera dengan marker tidak bisa lebih dari 20 cm dan ukuran file instalasi yang masih termasuk dalam kategori cukup besar yaitu sekitar 200 MB.

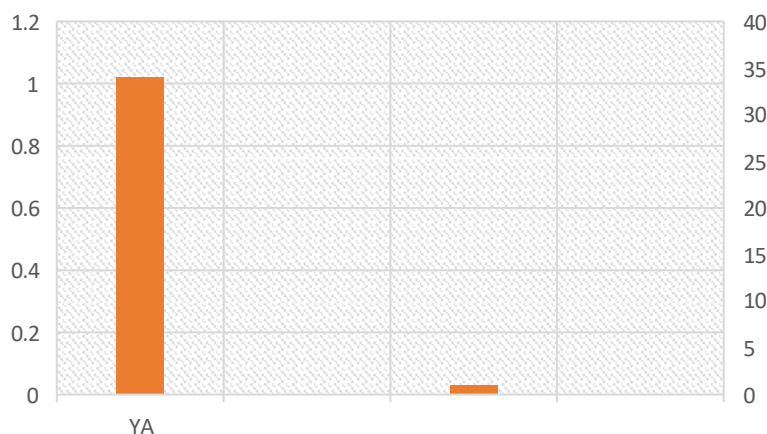
Setelah dilakukan pengujian dan dipastikan aplikasi dapat berjalan dengan baik, maka tahap selanjutnya adalah melakukan pengumpulan data dengan tujuan untuk menggali pengalaman pengguna dalam kegiatan pembelajaran. Pengumpulan data dilakukan dengan menyebarkan kuisioner pada peserta didik dan wawancara dengan salah satu guru pengampu mata pelajaran Geografi. Pertanyaan pertama pada kuisioner mengukur tingkat pemahaman peserta didik terhadap materi. Adapun rekap dari jawaban pertanyaan ini dapat dilihat pada gambar 2.



Gambar 2. Hasil rekap jawaban pertanyaan pertama pada kuisioner

Gambar 2 mendeskripsikan jawaban peserta didik terhadap pertanyaan “Setelah mempelajari media pembelajaran menggunakan AR pada materi bentuk dan struktur vulkan bagaimana pemahamanmu terhadap materi ini?”. Dari gambar diatas dapat diketahui bahwa seluruh peserta didik (100%) menyatakan implementasi media AR dapat membantu memahami bentuk vulkan dan struktur vulkan. Menurut peserta didik penampakan 3 dimensi dapat mempermudah mereka untuk membedakan kecuraman lereng dan bentuk vulkan secara jelas. Hal tersebut didukung oleh hasil wawancara dengan guru pengampu yang mengungkapkan bahwa saat kegiatan refleksi peserta didik menunjukkan pemahaman yang lebih mendalam daripada sebelumnya. Sebagian peserta didik mampu menjawab beberapa pertanyaan berkaitan struktur dan bentuk vulkan yang diberikan oleh guru pengampu.

Berikutnya, pertanyaan kedua pada kuisioner mengukur tingkat ketertarikan peserta didik terhadap implementasi AR dalam kegiatan pembelajaran. Rekap jawaban peserta didik secara lengkap ditampilkan pada gambar 3.



Gambar 3. Hasil rekap jawaban pertanyaan kedua pada kuisioner

Gambar 3 mendeskripsikan jawaban peserta didik terhadap pertanyaan “Setelah mengikuti kegiatan pembelajaran, apakah kalian tertarik jika media AR juga diimplementasikan pada materi lain?”. Berdasarkan hasil analisis jawaban kuisioner, sebanyak 95% peserta didik menunjukkan ketertarikan apabila media AR juga dapat diimplementasikan pada materi yang lain. Hasil wawancara dengan guru pengampu mengungkapkan bahwa implementasi media AR membuat pembelajaran lebih interaktif dan menyenangkan. Peserta didik tampak lebih aktif untuk bertanya dan mengemukakan pendapatnya terkait materi yang dipelajari. Guru juga berharap bahwa kedepan media AR dapat dikembangkan lebih masif lagi, tidak hanya pada materi struktur dan bentuk gunung berapi tapi juga pada materi-materi geografi lain yang memerlukan interpretasi objek visual untuk memahaminya. Berdasarkan hasil analisis data di atas, implementasi media AR yang membuat pembelajaran semakin interaktif dan menyenangkan sejalan dengan prinsip

pendekatan pembelajaran mendalam yang mana pembelajaran haruslah berkesadaran, bermakna dan menyenangkan.

## 5. KESIMPULAN

Pengembangan media pembelajaran Augmented Reality berbasis Android pada materi vulkanologi terbukti layak dan efektif meningkatkan pemahaman serta ketertarikan belajar siswa. Visualisasi 3D interaktif mampu menjembatani keterbatasan media konvensional dalam merepresentasikan objek spasial yang kompleks.

Secara praktis, guru geografi dapat memanfaatkan AR sebagai alternatif media pembelajaran untuk materi yang bersifat abstrak dan visual. Bagi pengembang media, penelitian ini menunjukkan pentingnya integrasi teknologi imersif dengan pendekatan pedagogis yang tepat.

Penelitian lanjutan disarankan menggunakan desain eksperimen untuk menguji efektivitas jangka panjang serta mengembangkan AR pada topik geografi lainnya.

## References

- Astuti, W., Nurkamto, J., Subiyantoro, S., & Rochsantiningsih, D. (2024). Exploring the potential development of digital modules for arts and culture learning based on local culture: A mixed-method study on Bedhaya Ketawang dance. *Edelweiss Applied Science and Technology*, 8(5 SE-Articles), 2327–2342. <https://doi.org/10.55214/25768484.v8i5.1986>
- Awang, M. M., Khairuddin, K. F., Ahmad, A. R., Ghani, S. A., Wahab, J. L. A., & Mamat, R. M. S. R. (2022). KETIDAKHADIRAN KE SEKOLAH: FAKTOR PENYEBAB, AKTIVITI KETIKA PONTENG DAN ASPIRASI BUDAYA BELAJAR PELAJAR ORANG ASLI (School Absenteeism: Contributing Factors, Activities during Truancy and Learning Culture Aspiration among Native Pupils). *Malaysian Journal of Learning and Instruction*, 19(1), 277–308. <https://doi.org/10.32890/mjli2022.19.1.10>
- Budirahayu, T., & Saud, M. (2023). Pedagogical innovation and teacher collaborations in supporting student learning success in Indonesia. *Cogent Education*, 10(2), 2271713. <https://doi.org/10.1080/2331186X.2023.2271713>
- Denura, D., & Herdiana, D. (2024). PENERAPAN BAHAN AJAR DIGITAL BERBASIS POWERPOINT PRESENTATION KOMBINASI VIDEO PEMBELAJARAN. *Journal Of Education*, 1(2), 8 Halaman. <https://doi.org/10.65353/s5t7c052>
- Fan, Y., Chong, D. K., & Li, Y. (2024). Beyond play: a comparative study of multi-sensory and traditional toys in child education. *Frontiers in Education*, Volume 9–2024. <https://www.frontiersin.org/journals/education/articles/10.3389/feduc.2024.1182660>
- Gori, M., Price, S., Newell, F. N., Berthouze, N., & Volpe, G. (2022). Multisensory Perception and Learning: Linking Pedagogy, Psychophysics, and Human–Computer Interaction. *Multisensory Research*, 35(4), 335–366. <https://doi.org/https://doi.org/10.1163/22134808-bja10072>

- Ho, K. K. W., Ye, S., Chiu, D. K. W., & Sekiguchi, T. (2024). Digital Transformation in Remote Learning and Work—An Externality of the COVID-19 Pandemic. *IEEE Internet Computing*, 28(1), 10–17. <https://doi.org/10.1109/MIC.2023.3332887>
- Hsbollah, H. M., & Hassan, H. (2022). CREATING MEANINGFUL LEARNING EXPERIENCES WITH ACTIVE, FUN, AND TECHNOLOGY ELEMENTS IN THE PROBLEM-BASED LEARNING APPROACH AND ITS IMPLICATIONS. *Malaysian Journal of Learning and Instruction*, 19(1), 147–181. <https://doi.org/10.32890/mjli2022.19.1.6>
- Markauskaite, L., Carvalho, L., & Fawns, T. (2023). The role of teachers in a sustainable university: from digital competencies to postdigital capabilities. *Educational Technology Research and Development*, 71(1), 181–198. <https://doi.org/10.1007/s11423-023-10199-z>
- Nurajizah, N., Habibie, A., & Muhammad, T. (2025). Development of Interactive Learning Media Based on Genially for Informatics Subject in Grade X of Vocational High School. *Design Journal*, 3(2 SE-Articles), 56–62. <https://doi.org/10.58477/dj.v3i2.313>
- Paramita, A., Yulia, C., & Nikmawati, E. E. (2021). Augmented reality in nutrition education. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 1098(2), 22108. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/1098/2/022108>
- Rasimin, Semma, A. B., Zakiyuddin, Ali, M., & Helmy, M. I. (2024). Multi-dimensional challenges in the Indonesian social science information technology-based learning: A systematic literature review. *Heliyon*, 10(7). <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e28706>
- Rus, B.-A., & Sita, I. V. (2025). A Review on Augmented Reality in Education and Geography: State of the Art and Perspectives. In *Applied Sciences* (Vol. 15, Issue 13, p. 7574). <https://doi.org/10.3390/app15137574>
- Schmidt, R., & Stumpe, B. (2025). Systematic review of mobile augmented reality applications in geography education. *Review of Education*, 13(1), e70042. <https://doi.org/https://doi.org/10.1002/rev3.70042>
- Seidl, A. H., Indarjit, M., & Borovsky, A. (2024). Touch to learn: Multisensory input supports word learning and processing. *Developmental Science*, 27(1), e13419. <https://doi.org/https://doi.org/10.1111/desc.13419>
- Suleiman, Z., Shaikholla, S., Dikhanbayeva, D., Shehab, E., & Turkyilmaz, A. (2022). Industry 4.0: Clustering of concepts and characteristics. *Cogent Engineering*, 9(1), 2034264. <https://doi.org/10.1080/23311916.2022.2034264>
- Volioti, C., Keramopoulos, E., Sapounidis, T., Melisidis, K., Kazlaris, G. C., Rizikianos, G., & Kitras, C. (2022). Augmented Reality Applications for Learning Geography in Primary Education. In *Applied System Innovation* (Vol. 5, Issue 6, p. 111). <https://doi.org/10.3390/asi5060111>
- Wijayanto, B., Sumarmi, S., Hari Utomo, D., Handoyo, B., & Aliman, M. (2023). Problem-based learning using e-module: Does it effect on student's high order thinking and learning interest in studying geography? *Journal of Technology and Science Education*; Vol 13, No 3 (2023)DO - 10.3926/Jotse.1965 . <https://www.jotse.org/index.php/jotse/article/view/1965>