

Visualisasi Proses Vulkanisme melalui Media Pembelajaran Animasi berbasis *Augmented Reality* sebagai Media Digital Geografi

Alifah Salsabila, Alfyananda Kurnia Putra*
Universitas Negeri Malang, Jawa Timur, Indonesia
*alfyananda.fis@um.ac.id

Abstract

Technological developments have experienced rapid progress which has an impact on the field of education. Technology is also a means of digital media in delivering material to students. This research developed an Augmented Reality (AR) in the form of the VULK-AR application as digital geographic media. The VULK-AR application is a new innovation in the process of volcanism and 3 types of volcanoes by combining various components in it. This research aims to explore the potential of Augmented Reality-based animation learning media and visualize the process of volcanism. This development uses the Research and Development (R&D) method with the SAM 1 model. Through the integration of AR with geography content, students can understand natural phenomena directly, and enable active learning experiences. The validation test results show that media experts provide a feasibility percentage of 92.84%, and material experts 89.55%. Product trials were carried out on teachers, the percentage obtained was 84.61% and students were 89.75%. The advantages of the VULK-AR application in geographic digital media can foster innovation in the field of technology in geography learning. It is hoped that this research can make a positive contribution in the development of digital geographic media on volcanism material.

Keywords: *Augmented Reality; Volcanism; Geographic Media Digital*

Abstrak

Perkembangan teknologi telah mengalami kemajuan pesat yang berdampak pada bidang pendidikan. Teknologi juga sebagai sarana media digital dalam penyampaian materi terhadap siswa. Penelitian ini mengembangkan sebuah *Augmented Reality (AR)* berupa aplikasi VULK-AR sebagai media digital geografi, aplikasi VULK-AR merupakan inovasi baru dalam proses vulkanisme dan 3 tipe gunung api dengan mengkombinasikan berbagai komponen di dalamnya. Penelitian ini bertujuan untuk menjelajahi potensi media pembelajaran animasi berbasis *Augmented Reality* serta memvisualisasikan proses vulkanisme. Pengembangan ini menggunakan metode *Research and Development (R&D)* dengan model SAM 1. Melalui integrasi AR dengan konten geografi, siswa dapat memahami fenomena alam secara langsung, serta memungkinkan pengalaman belajar yang aktif. Hasil uji validasi menunjukkan bahwa ahli media memberikan persentase kelayakan sebesar 92,84%, dan ahli materi sebesar 89,55%. Uji coba produk dilakukan kepada guru, diperoleh persentase sebesar 84,61% dan siswa sebesar 89,75%. Keunggulan aplikasi VULK-AR dalam media digital geografi dapat menumbuhkan inovasi dalam bidang teknologi pada pembelajaran geografi. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi positif dalam pengembangan media digital geografi pada materi vulkanisme.

Kata Kunci: *Augmented Reality; Vulkanisme; Media Digital Geografi*

Pendahuluan

Perkembangan teknologi saat ini terus meningkat, khususnya pada bidang pembelajaran. Teknologi berperan penting dalam meningkatkan perubahan aspek pendidikan, juga dapat meningkatkan pengetahuan dan kemampuan dalam melakukan aktivitas. Teknologi dapat menjadi sarana media digital dalam penyampaian materi kepada siswa. Dalam upaya ini, teknologi digunakan sebagai alat yang dapat meningkatkan efektivitas pembelajaran. Integrasi teknologi seperti pemanfaatan berbagai platform dapat digunakan dalam penyampaian materi sehingga peserta didik mampu mengikuti perkembangan teknologi yang terus meningkat (Rahayu et al., 2022).

Berdasarkan hasil observasi dan analisis kebutuhan yang telah dilakukan kepada guru geografi dan siswa kelas X-E di SMAN 1 Singosari, bahwa masih terdapat pembelajaran geografi yang dilakukan menggunakan metode konvensional, dan media seperti PPT. Selain itu, proses pembelajaran masih terfokus pada satu sumber materi, yakni buku dan Lembar Kerja Siswa (LKS) dengan penggunaan elemen media seperti gambar, grafik, dan peta yang disajikan. Penerapan satu sumber belajar juga metode ceramah memiliki kelemahan yang menjadikan peserta didik sulit memahami materi geografi dan cenderung merasa bosan selama proses pembelajaran (Wahyuni et al., 2017). Penerapan model pembelajaran tersebut juga menyebabkan kemampuan berpikir kritis peserta didik belum mencapai potensi maksimal, sehingga peserta didik memiliki sedikit kesempatan untuk mengembangkan potensi mereka secara aktif di dalam kelas (Jannah et al., 2019). Menghadapi tantangan ini, diperlukan penerapan media pembelajaran yang dapat membantu pemahaman peserta didik. Melalui media pembelajaran ini, seorang pengajar dapat berperan sebagai fasilitator, analisis, ahli media, dan sebagainya (Rahmawati et al., 2017).

Augmented Reality merupakan inovasi dalam media pembelajaran. *Augmented Reality* memanfaatkan kamera pada *smartphone* untuk mendeteksi marker, dengan tujuan menampilkan objek virtual 2D atau 3D ke dalam dunia nyata dan dapat diproyeksikan secara langsung (*real time*). Pemanfaatan *Augmented Reality* dalam pembelajaran dapat menciptakan suasana belajar yang lebih interaktif dan efektif (Putra et al., 2024). Keuntungan menggunakan *Augmented Reality* dalam proses pembelajaran antara lain: (1) dapat meningkatkan minat belajar siswa, (2) merangsang pola pikir kritis terhadap masalah sehari-hari, dan (3) menyediakan pengalaman pembelajaran yang unik dan berbeda melalui keterlibatan siswa secara langsung (Arif et al., 2022). Teknologi *Augmented Reality* membuat pembelajaran geografi lebih menarik dan interaktif, peningkatan minat ini dapat mendorong siswa untuk lebih aktif dalam proses pembelajaran geografi (Al Shuaili et al., 2020).

Penelitian terhadap penggunaan *Augmented Reality* dalam konteks pendidikan menurut hasil penelitian (Saidin et al., 2015) sejak diperkenalkan teknologi *Augmented Reality* terbukti memiliki potensi besar untuk meningkatkan aktivitas, efektivitas, dan makna dalam proses pembelajaran. Hal ini terjadi karena teknologi canggih memungkinkan siswa untuk berinteraksi secara virtual dan *real-time*, memberikan pengalaman yang alami (Putri et al., 2024). Integrasi *Augmented Reality* dengan pendidikan memungkinkan siswa untuk berpartisipasi dalam pengalaman belajar yang realistis (Aguayo et al., 2017). Dapat dilihat bahwa aplikasi VULK-AR memiliki potensi dan keunggulan positif yang dapat disesuaikan dengan kebutuhan pendidikan, dibandingkan dengan teknologi dan metode pengajaran tradisional seperti *e-learning*, perangkat lunak pendidikan, pidato, dan buku konvensional (Hayuantara, 2020).

Pemanfaatan teknologi AR memungkinkan siswa untuk berinteraksi dengan objek virtual tiga dimensi (3D) yang tampak dalam lingkungan nyata (Fenais et al., 2019). Alasan lainnya adalah kemudahan akses dan implementasi perangkat lunak AR

pada perangkat seluler, yang memungkinkan visualisasi objek dengan pendekatan yang berbeda (Freitas et al., 2020). Di sisi lain, teknologi Sistem Informasi Geografis (GIS) dapat merepresentasikan objek-objek di bumi melalui data spasial. Ketersediaan data spasial yang gratis memungkinkan pemodelan 3D bentang alam gunung berapi menggunakan teknologi GIS. Oleh karena itu, menggabungkan teknologi GIS dan AR dapat menciptakan pengalaman baru dalam pemanfaatan informasi spasial (Hedley et al., 2018).

Visualisasi bentang alam gunung berapi dengan data *Digital Elevation Model (DEM)* pada komputer desktop GIS mempunyai keterbatasan dalam hal akses terhadap fungsi tampilan perangkat lunak di luar ruangan. Kendala ini dapat diatasi dengan menggabungkan GIS dan *Mobile Augmented Reality* (Lahay, 2023). Meskipun belum banyak dieksplorasi, data model ketinggian digital dan citra satelit dalam konteks perangkat lunak AR menjadi fokus perhatian penelitian. Studi ini mencerminkan pendekatan praktis dalam mengintegrasikan data geospasial dengan perangkat lunak *Augmented Reality* berbasis seluler (Panduwinata et al., 2021). Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan media pembelajaran animasi berbasis *Augmented Reality* berupa aplikasi VULK-AR dengan memvisualisasikan objek proses vulkanisme dan 3 tipe gunung api. Data model ketinggian digital (DEM) dan citra satelit digunakan untuk menciptakan objek tiga dimensi (3D) dengan karakteristik yang diperlukan. Aplikasi VULK-AR memungkinkan sekelompok siswa untuk saling berkolaborasi dan berinteraksi dengan objek geografi yang divisualisasikan (Hedley et al., 2018).

Entitas geografis memiliki atribut yang terkait dengan lokasi. Oleh karena itu, teknologi GIS diperlukan untuk merepresentasikan entitas tersebut dalam format data tertentu. Ada beberapa penelitian yang melibatkan data geospasial dengan visualisasi menggunakan *Augmented Reality* (Kristanti et al., 2024). Diharapkan dengan adanya teknologi *Augmented Reality*, guru dapat lebih memaksimalkan penyampaian materi pembelajaran yang disampaikan. Sebagai contoh: *Augmented Reality* dalam proses pembelajaran geografi dapat menampilkan visual 3D vulkanisme dengan beberapa tipe letusan gunung api yang dapat dibedakan dari proses visualnya dilihat secara realtime melalui komputer atau *mobile*. Selain itu, dengan adanya media pembelajaran berbasis *Augmented Reality* memungkinkan siswa media untuk berinteraksi dengan objek geografi yang divisualisasikan (Hedley et al., 2018). Media *Augmented Reality* melalui animasi 3D vulkanisme, disajikan dengan menampilkan objek 3D *Augmented Reality* yang dapat diakses secara mobile melalui media *QR Code*.

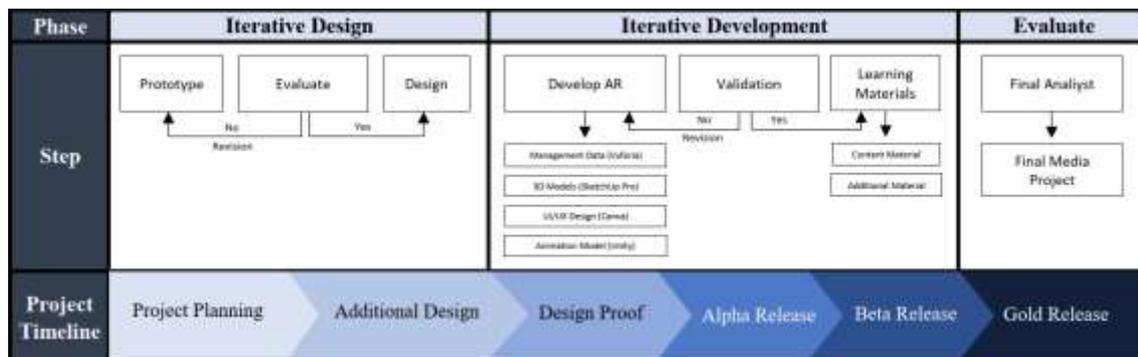
Materi vulkanisme merupakan bagian dari geografi fisik yang membutuhkan pemahaman kontekstual karena terdapat banyak konsep yang harus dipelajari (Kurniawati et al., 2019). Materi ini juga berkaitan dengan gunung api yang melibatkan fenomena berbahaya, seperti contoh: proses vulkanisme yang tidak dapat dilihat secara langsung. Inilah yang menyebabkan siswa kesulitan dalam memahami materi vulkanisme, terutama pada sub bab proses vulkanisme, jika dipelajari hanya melalui penyampaian verbal. Hal ini disebabkan karena materi vulkanisme merupakan fenomena yang tidak dapat diamati secara langsung. Diharapkan visualisasi objek 3D dapat membantu siswa untuk lebih memahami materi vulkanisme dalam pembelajaran geografi (Habibiyah et al., 2023). Selain itu, proses pembelajaran akan lebih menyenangkan karena siswa dapat secara langsung berinteraksi dengan objek 3D, dengan begitu siswa lebih mudah mempelajari materi vulkanisme dengan waktu yang singkat, karena materi disajikan secara ringkas (Pramono & Setiawan, 2019).

Penelitian ini bertujuan untuk menciptakan model 3D dari bentang alam vulkanik dan mengembangkan aplikasi VULK-AR untuk memvisualisasikan bentang alam tersebut. Model bentuk lahan 3D dibuat berdasarkan *Digital Elevation Model*

(DEM) yang dibatasi pada tiga lokasi fitur vulkanik. Data DEM sudah tersedia dan dapat dengan mudah diperoleh melalui tambahan perangkat lunak grafis 3D (Hashim, 2018). Model 3D bentuk lahan ini digunakan sebagai data masukan dalam pembuatan aplikasi VULK-AR. Proses perancangan prototipe menggunakan perangkat lunak AR. Dengan menggabungkan data spasial dengan teknologi AR, hasilnya adalah prototipe aplikasi VULK-AR yang mampu menampilkan bentuk lahan vulkanik 3D secara virtual di dunia nyata melalui perangkat *smartphone*.

Metode

Penelitian ini merupakan pengembangan R&D dengan menggunakan model SAM 1 (*Successive Approximation Model*), SAM 1 model yang dikembangkan oleh Michael Allen pada tahun 2012 di Amerika. Ada 2 model yaitu SAM 1 dan SAM 2, namun penelitian pengembangan ini akan terfokus pada SAM 1 karena dianggap lebih efektif dan cocok untuk proyek secara individu. Keuntungan pada model ini ialah empirik (belajar melalui proses), berulang (langkah-langkah kecil), dan partisipasi (timbang balik). Proses SAM 1 berbentuk *cyclical* atau siklus diulang sebanyak 3 kali, semua dimulai dan diakhiri dengan evaluasi. SAM 1 memiliki 3 tahap, yaitu desain berulang (*iterative design*), pengembangan berulang (*iterative develop*), dan evaluasi (*evaluate*). Dalam tahap *iterative design* terdiri dari 2 aktivitas yaitu perencanaan proyek (*project planning*) dan desain tambahan (*additional design*), dan tahap *iterative development* terdiri dari 3 langkah yaitu perancangan desain (*design proof*), rilis pertama (*alpha release*), rilis kedua (*beta release*), dan terakhir tahap evaluasi yaitu rilis terakhir (*gold release*), dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Diagram Alur Penelitian SAM 1

Sumber: Allen & Sites (2012)

Tahapan-tahapan pada penelitian SAM 1 mencakup aspek desain, pengembangan, dan evaluasi yang dilakukan secara sistematis. Mulai dari Langkah: prototipe, evaluasi, desain, pembuatan AR, validasi, materi pembelajaran, dan analisis akhir. Berikut pada Tabel 1, merupakan penjabaran mengenai tahapan-tahapan pada model SAM 1.

Table 1. Tahap Pengembangan AR dengan Model SAM 1

Fase	Langkah	Deskripsi
Desain	Prototipe	Perancangan prototipe AR merupakan perencanaan awal yang dapat membantu dalam memvalidasi konsep desain secara analisis.
	Evaluasi	Setiap iterasi prototipe diberikan kesempatan untuk memperbaiki desain berdasarkan umpan balik dari pengujian prototipe.
	Desain	Membuat rancangan desain dari prototipe yang telah dibuat, seperti konsep, metode, alat yang akan digunakan.

Fase	Langkah	Deskripsi
Pengembangan	Pembuatan AR	Pada proses ini dimulai tahap pembuatan AR dengan olah data (Vuforia), kemudian pembuatan 3D model gunung api (SketchUp Pro), UI/UX Aplikasi (Canva), terakhir pembuatan model animasi 3D (Unity).
	Validasi	Setelah media AR dibuat, maka dilakukan proses pengujian validasi media dan validasi materi, untuk memastikan bahwa media dapat sesuai digunakan dengan baik.
	Materi Pembelajaran	Materi vulkanisme sesuai dengan AR, media 3D menunjukkan proses terjadinya vulkanisme, serta perbedaan dari 3 tipe gunung api (strato, maar, perisai).
Evaluasi	Analisis Akhir	Pada proses evaluasi, melakukan perbaikan sesuai dengan kebutuhan dan perkembangan teknologi media AR.

Sumber: Data Analisis Peneliti (2024)

Setelah melakukan analisis kebutuhan pada siswa & guru, dilakukan pengumpulan data pada penelitian pengembangan aplikasi VULK-AR berbasis *Augmented Reality*, dengan dilakukan melalui instrumen berupa angket semi terbuka dan tertutup. Angket semi terbuka dipilih agar para ahli validator dapat memberikan umpan balik dan kritik tambahan mengenai produk yang telah dikembangkan oleh peneliti. Sementara itu, untuk siswa kelas X-E dan guru geografi di SMA Negeri 1 Singosari diberikan angket semi tertutup terhadap uji kelayakan produk. Angket tersebut dirancang dalam bentuk *checklist* dan menggunakan skala Likert dengan empat bobot skor.

Dalam penelitian pengembangan ini, terdapat 2 pendekatan analisis data yang digunakan: analisis deskriptif kualitatif dan kuantitatif. Untuk mengolah data dari umpan balik dan saran perbaikan produk media aplikasi VULK-AR yang diberikan oleh kedua ahli validator menggunakan analisis deskriptif kualitatif. Sedangkan untuk menyajikan kejadian atau fakta secara objektif dalam bentuk angka menggunakan analisis deskriptif kuantitatif. Analisis pertama diperoleh dari skor kedua angket validator, kemudian data kuantitatif dari skor angket diolah menjadi persentase validasi kedua tim ahli. Berikut disajikan kriteria validasi tim ahli didasarkan pada penelitian, seperti pada tabel 2 sebagai berikut.

Table 2. Kriteria Validasi Tim Ahli

Bobot Skor	Skor Dalam Persen (%)	Kualifikasi
4	76-100%	Sangat Valid
3	51-75%	Valid
2	26-50%	Tidak Valid
1	0-25%	Sangat Tidak Valid

Sumber: Cholifah & Muslihasari (2022)

Skor yang diperoleh dari hasil analisis data respon siswa, kemudian dihitung dengan menggunakan rumus uji efektivitas. Berikut merupakan rumus perhitungan hasil analisis data respon siswa terhadap media pembelajaran.

$$\text{Hasil Skor} = \frac{\text{Skor Diperoleh}}{\text{Skor Tertinggi}} \times 100$$

Data yang telah dianalisis dari angket respon guru geografi dan siswa X-E di SMAN 1 Singosari diolah menggunakan data kuantitatif dari bobot skor angket yang diubah menjadi persentase kelayakan produk dengan rumus perhitungan hasil analisis repon guru geografi dan siswa X-E. Pada Tabel 3, telah disajikan kriteria kelayakan produk didasarkan pada penelitian berikut ini.

Table 3. Kriteria Kelayakan Produk

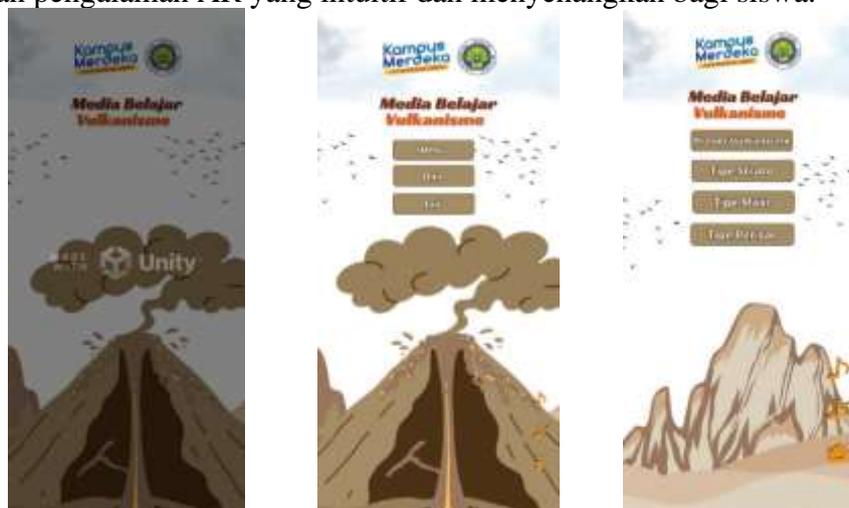
Bobot Skor	Skor Dalam Persen (%)	Kualifikasi
5	81-100%	Sangat Layak
4	61-80%	Layak
3	41-60%	Cukup Layak
2	21-40%	Kurang Layak
1	0-20%	Tidak Layak

Sumber: Arikunto (Khaeruman et al., 2018)

Hasil dan Pembahasan

Hasil dari penelitian ini berupa pengembangan aplikasi VULK-AR sebagai media digital untuk pembelajaran geografi pada materi vulkanisme. Aplikasi ini menyajikan visualisasi materi tentang proses vulkanisme dan 3 tipe gunung api dengan integrasi objek 3D *Augmented Reality*, gambar, teks, dan dilengkapi dengan kuis yang menarik. Pengembangan media animasi berbasis *Augmented Reality* berupa aplikasi VULK-AR ini menggunakan R&D dengan model SAM 1, yang terdiri dari 3 tahap: *iterative design, iterative development, and evaluation*. Aplikasi VULK-AR yang telah dikembangkan, dapat diunduh melalui tautan berikut <https://bit.ly/VULK-AR>. Setelah diunduh, siswa dapat mengakses dengan cara menginstal aplikasi VULK-AR yang telah disediakan.

Proses pengembangan produk penelitian ini berdasarkan pada tahap awal analisis kebutuhan pada media yang telah dilakukan kepada guru geografi dan siswa X-E di SMAN 1 Singosari. Media digital *Augmented Reality* ini dirancang untuk mendukung pemahaman siswa lebih mendalam tentang proses vulkanisme dan 3 tipe gunung api. Menu pada aplikasi VULK-AR terdiri dari fitur utama yang dirancang untuk meningkatkan interaksi siswa dengan konten digital yang ditampilkan pada lingkungan nyata. Pada Gambar 2, terdapat tampilan antarmuka aplikasi VULK-AR yang telah dikembangkan dengan Unity. Pada layer utama aplikasi VULK-AR terdapat beberapa pilihan seperti 'Menu', siswa dapat memilih tombol navigasi yang didalamnya terdapat 4 pilihan untuk menampilkan produk *Augmented Reality*. Selain itu, terdapat menu pengaturan yang memungkinkan siswa untuk menyesuaikan preferensi aplikasi, termasuk kontrol suara, dan konektivitas perangkat. Fitur-fitur ini dirancang untuk memberikan pengalaman AR yang intuitif dan menyenangkan bagi siswa.



Gambar 2. Tampilan Aplikasi VULK-AR

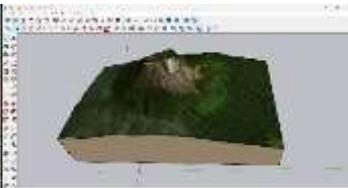
Sumber: Dibuat oleh Peneliti (2024)

Tampilan layar pada Gambar 2. menampilkan antarmuka navigasi utama, menunjukkan 3 tipe gunung api yang dimasukkan ke dalam perangkat. Hasil kompilasi pada perangkat lunak Unity pada perangkat smartphone tertera pada gambar diatas. Hasil kompilasi pada software Unity berupa aplikasi VULK-AR berbasis marker berekstensi .apk yang diinstal pada perangkat smartphone. Data ini menjadi materi krusial dalam membentuk model objek 3D. Data satelit ini akan diolah pada tahapan selanjutnya sesuai dengan kebutuhan penelitian. Beberapa proses pengolahan melibatkan pemotongan area dan pembentukan model 3D untuk bentang alam vulkanik, yang merupakan ilustrasi dari salah satu langkah pengolahan data citra untuk suatu bentang alam tertentu.

Pada Gambar 2. juga menunjukkan menu untuk menampilkan AR Proses vulkanisme dan 3 tipe gunung api pada aplikasi VULK-AR. Hal ini menunjukkan pengujian aspek yang diuji merupakan deteksi marker oleh aplikasi. Langkah berikutnya dalam pengujian ini melibatkan pembuatan skenario pengujian yang mempertimbangkan faktor-faktor seperti jarak, sudut, dan pencahayaan. Ketiga aspek penting ini mempengaruhi kinerja aplikasi saat mendeteksi penanda (Syahputra et al., 2020). Skenario pengujian ini tidak dilakukan secara terpisah untuk setiap elemen, namun pengujian dilakukan secara bersamaan dengan mengintegrasikan ketiga komponen tersebut.

Visualisasi proses vulkanisme serta tipe letusan gunungapi strato, maar, dan perisai melalui 3D telah dibuat dan dapat diaplikasikan pada smartphone (Hamzah et al., 2021). Proses vulkanisme dan 3D tipe letusan gunungapi terdiri atas tiga bagian, yaitu gambaran umum media AR 3D dan kaitannya dalam kegiatan pembelajaran, pemodelan 3D bentuk lahan vulkanisme, dan pengaplikasian AR 3D bentuk lahan vulkanisme. AR menampilkan gambar dari dunia nyata pada layar *smartphone* dengan menambahkan objek yang telah dibuat sebelumnya pada software komputer (Lukman et al., 2021). Selanjutnya, peserta didik dapat belajar secara kolaboratif melalui penggunaan media interaktif melalui partisipasi kegiatan bersama (kelompok) dan mengerjakan penugasan dari media yang telah disediakan (Lahay, 2020). Dengan demikian, siswa dapat memahami konsep yang rumit melalui simulasi belajar yang berguna untuk membantu siswa memahami konsep yang rumit, misalnya proses terjadinya letusan gunungapi.

Table 4. Tahapan Proses 3D menjadi *Augmented Reality*

Proses 3D	Buku Panduan	Hasil Scan AR
		
		



Sumber: Dibuat oleh Peneliti (2024)

Pada Tabel 4, terlihat proses pembuatan 3D animasi dengan perangkat SketchUp Pro, AR dapat di scan menggunakan *QR code* yang ada dalam buku panduan, kemudian AR muncul pada perangkat mobile tertentu. Keadaan ini terjadi ketika ada penanda yang terdeteksi. Jika kualitasnya berhasil diidentifikasi, sistem akan merespon dengan menampilkan gambar 3D proses vulkanisme dan 3 tipe gunung api. Proses pembuatan model 3D sepenuhnya menggantungkan pada data digital permukaan bumi yang dapat diakses secara gratis melalui alat pemodelan SketchUp Pro. Alat AR juga memberikan fasilitas untuk menampilkan bentuk lahan dengan pendekatan yang berbeda.



Gambar 3. Tampilan Soal Quiz

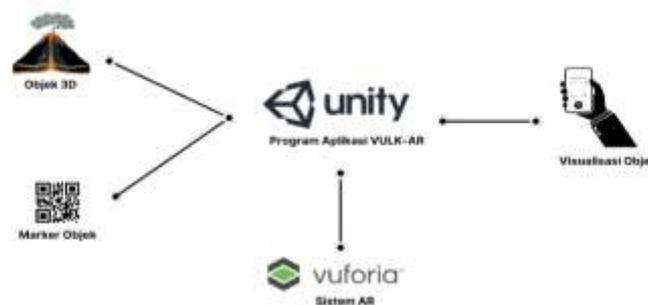
Sumber: Dibuat oleh Peneliti (2024)

Pada Gambar 3. Aplikasi VULK-AR juga dilengkapi dengan menu kuis yang dirancang untuk meningkatkan pemahaman siswa terhadap materi vulkanisme. Menu kuis ini menyajikan serangkaian pertanyaan yang menguji pengetahuan siswa setelah

mempelajari konten *Augmented Reality* yang tersedia dalam aplikasi VULK-AR. Pertanyaan-pertanyaan ini mencakup berbagai aspek vulkanisme, mulai dari proses geologis hingga jenis-jenis gunung berapi. Setiap soal disajikan dengan pilihan jawaban yang memungkinkan siswa untuk memilih jawaban dengan tepat. Fitur ini tidak hanya berfungsi sebagai alat evaluasi, tetapi juga untuk mengukur pemahaman siswa dan memperkuat pengetahuan siswa dengan cara interaktif dan menyenangkan. Quiz juga dirancang untuk meningkatkan keterampilan berpikir analitis, serta mendorong siswa untuk berpikir lebih mendalam mengenai materi vulkanisme.

Hasil pengujian menunjukkan kesesuaian dengan apa yang diharapkan, karena penggunaan aplikasi VULK-AR berbasis *Augmented Reality* sangat efektif dalam pengembangan media pembelajaran animasi, karena dalam aplikasi VULK-AR memberikan tampilan yang menarik serta efektivitas dalam media pembelajaran digital geografi, sehingga dapat menciptakan ketertarikan belajar pada siswa untuk lebih mendalami materi vulkanisme mengenai proses vulkanisme dan 3 tipe gunung api. Hasil dari adanya Quiz pada aplikasi VULK-AR juga dapat memberikan umpan balik secara langsung, dan digunakan untuk mengasah kemampuan pemahaman siswa terhadap materi vulkanisme mengenai proses vulkanisme dan 3 tipe gunung api yang telah dipelajari. Dengan adanya elemen interaktif seperti Quiz, siswa juga aktif dalam proses pembelajaran yang pada akhirnya meningkatkan retensi dan pengetahuan siswa.

Sistem Kerja Aplikasi VULK-AR



Gambar 4. Sistem Kerja Aplikasi VULK-AR

Sumber: Dibuat oleh Peneliti (2024)

Pada Gambar 4. ditunjukkan sistem kerja aplikasi VULK-AR yang menggabungkan objek 3D gunung api dengan marker objek (*QR code*). Pertama, objek 3D gunung api di desain terlebih dahulu dengan menggunakan aplikasi SketchUp Pro, kemudian dibuat marker objek khusus yang akan digunakan sebagai penanda fisik yang akan ditempatkan di lingkungan nyata (*real time*). Kemudian, menggunakan aplikasi Vuforia untuk mengenali marker terdeteksi, Vuforia memproses data ini dan menghubungkan dengan model 3D gunung api yang telah di program sebelumnya. Unity kemudian menampilkan model gunung api pada layar perangkat, seakan objek 3D gunung api tersebut muncul secara nyata diatas marker yang dilihat oleh siswa. Proses ini memungkinkan siswa untuk melihat dan berinteraksi secara langsung dengan visualisasi proses vulkanisme 3D tersebut. Hasilnya adalah pengalaman visual yang imersif dimana objek gunung api pada media digital muncul ke dunia nyata ketika marker dikenali oleh aplikasi VULK-AR. *Augmented Reality* dapat memproyeksikan objek 3D pada lingkungan nyata melalui perangkat *smartphone*.

Pembuatan bentuk model gunung api vulkanisme memerlukan perangkat keras, perangkat lunak, dan data. Perangkat keras merupakan penunjang untuk menjalankan aplikasi dan menyediakan fungsionalitas untuk pembuatan 3D. Perangkat lunak digunakan untuk membuat bentuk model gunung api pada aplikasi 3D. Perangkat lunak untuk membuat *prototype* aplikasi VULK-AR 3D bentuk lahan vulkanisme pada materi

tipe letusan gunungapi untuk *smartphone* adalah *unity* dan *vuforia* (Unity, 2021; Vuforia, 2021). Kedua perangkat lunak tersebut tersedia *online* dan dapat diakses secara bebas. Unity mempunyai antarmuka dan fitur yang mendukung untuk pengembangan aplikasi VULK-AR. Sedangkan vuforia adalah pendukung pengembangan aplikasi VULK-AR sebagai penanda (Lahay, 2023). Kerangka media telah berhasil dikembangkan menjadi aplikasi VULK-AR pada materi vulkanisme, kemudian media tersebut diuji kevalidannya untuk memastikan dapat diuji cobakan. Berikut merupakan hasil penilaian dari validasi ahli media dan ahli materi.

Table 5. Hasil Validasi Ahli Media dan Ahli Materi

No	Para Ahli	Persentase %	Kualifikasi
1	Ahli Media	92.84%	Sangat Valid
2	Ahli Materi	89.55%	Sangat Valid
Rata-rata Total		91.19%	Sangat Valid

Sumber: Data diolah oleh Peneliti (2024)

Berdasarkan Tabel 5, produk dari pengembangan media *Augmented Reality* telah melewati tahap pengujian validasi produk ahli media dan materi, dan dinyatakan valid serta cocok untuk digunakan. Total persentase dari hasil validasi ahli media dan ahli materi dengan keseluruhan 91,19%. Persentase ini berada dalam rentang 76-100%, sehingga dapat disimpulkan bahwa aplikasi VULK-AR termasuk dalam kategori sangat valid. Secara keseluruhan, penilaian menunjukkan bahwa pengembangan media digital geografi berupa aplikasi VULK-AR berhasil membuat materi vulkanisme lebih efisien untuk digunakan dalam pembelajaran.



Gambar 5. Uji coba aplikasi VULK-AR

Sumber: Dokumentasi oleh Peneliti (2024)

Pada Gambar 5, telah dilakukan uji coba penelitian pada siswa kelas X-E di SMAN 1 Singosari, sebanyak 28 siswa mencoba media pembelajaran *Augmented Reality* berupa aplikasi VULK-AR yang dikembangkan berdasarkan hasil dari analisis kebutuhan yang diperoleh dari siswa dan guru. Sehingga media *Augmented Reality* merupakan pilihan yang tepat untuk proses pembelajaran geografi pada materi vulkanisme. Aplikasi ini memudahkan siswa dalam mempelajari materi vulkanisme mengenai proses vulkanisme dan 3 tipe gunung api. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa aplikasi VULK-AR mendapatkan umpan balik yang positif dari guru maupun siswa.

Proses uji coba media pada siswa kelas X-E dimulai dengan pengenalan aplikasi VULK-AR kepada siswa, termasuk cara menginstal dan menggunakan fitur-fitur yang tersedia. Selanjutnya, siswa diminta untuk menggunakan aplikasi VULK-AR dalam proses pembelajaran yang telah direncanakan, siswa dapat berinteraksi secara langsung dengan konten *Augmented Reality* yang telah disajikan. Selama uji coba, pengamatan dilakukan untuk melihat bagaimana siswa berinteraksi dan memahami materi vulkanisme, serta menyelesaikan kuis yang disediakan. Uji coba media pembelajaran

aplikasi VULK-AR menunjukkan tingkat keterlibatan, pemahaman, dan kepuasan siswa terhadap penggunaan aplikasi VULK-AR dalam pembelajaran geografi materi vulkanisme. Semua data yang terkumpul dianalisis untuk mengevaluasi efektivitas aplikasi dan memberikan masukan untuk perbaikan lebih lanjut (Seviana et al., 2023).

Table 6. Hasil Uji Coba Guru dan Siswa

No	Subjek Uji Coba	Persentase %	Kualifikasi
1	Guru Geografi	84,61%	Sangat Layak
2	Siswa	89,75%	Sangat Layak

Sumber: Data diolah oleh Peneliti (2024)

Pada tabel 6, hasil uji coba produk aplikasi VULK-AR dilakukan penilaian terhadap respon guru geografi dengan persentase 84,61%. Persentase ini termasuk dalam rentang 81-100%, sehingga masuk dalam kategori sangat layak. Media ini memudahkan siswa dalam memperdalam pengetahuan mengenai materi vulkanisme pada sub bab proses vulkanisme dan 3 tipe gunung api. Hasil respon terhadap uji coba produk aplikasi VULK-AR terhadap 28 siswa kelas X-E di SMAN 1 Singosari, diperoleh persentase sebesar 89,75% yang termasuk dalam kriteria sangat layak. Media digital geografi berupa aplikasi VULK-AR ini membuat siswa lebih semangat mempelajari materi vulkanisme. Ketertarikan siswa terhadap AR ini karena inovasi yang belum pernah mereka temui sebelumnya dan akan memberikan pengalaman baru serta suasana yang menyenangkan (Haswin & Putra, 2024). Berdasarkan hasil penilaian dari siswa dan guru, terbukti bahwa media ini mendapatkan respon positif dan sangat layak digunakan pada pembelajaran geografi.

Penggunaan AR dalam pendidikan geografi telah menjadi subjek penelitian dan penerapan yang menarik di berbagai lembaga pendidikan (Dewi & Sahrina, 2021). Konsep geografi yang sulit dipahami dapat dijelaskan lebih baik melalui visualisasi AR (Putra et al., 2022). Seperti pada proses vulkanisme, siswa tidak dapat melihat secara langsung mengenai proses vulkanik tersebut, dengan adanya AR maka dapat lebih mempermudah pemahaman siswa. Misalnya, aplikasi VULK-AR digunakan untuk menggambarkan proses vulkanisme gunung berapi. Namun, sebagai tantangan utama untuk mengimplementasikan AR di lingkungan pendidikan meliputi kebutuhan akan perangkat keras seperti *smartphone/tablet* serta koneksi internet yang stabil (Anrichal & Pramono, 2023). Penggunaan AR dalam pendidikan geografi cukup menjanjikan, tetapi ada beberapa tantangan yang perlu dihadapi (Aripin et al., 2019). Dengan terus mengembangkan teknologi ini dan meningkatkan aksesibilitasnya, AR dapat menjadi media digital yang efektif dalam meningkatkan pemahaman dan minat siswa terhadap geografi (Afifah et al., 2024). Produk yang dihasilkan dalam penelitian dan pengembangan ini adalah berupa aplikasi VULK-AR, produk aplikasi tersebut menjelaskan mengenai 3D vulkanisme dan 3 gunung api. Hal ini dilakukan untuk lebih mudah dalam menyampaikan materi pembelajaran, serta mudah dalam menerima dan memahami proses vulkanisme gunung api pada materi litosfer (Umam & Sunaryo, 2019).

Dalam pengembangan aplikasi ini ada hal yang perlu diperhatikan yaitu aspek penyajian materi. Aplikasi VULK-AR menyajikan materi vulkanisme mengenai proses vulkanisme dan 3 tipe gunung api. Dengan demikian, siswa dapat lebih cepat dalam mempelajari dan memahami materi vulkanisme yang masih abstrak dan konseptual (Sari & Sulisworo, 2023). Konten dan materi dalam aplikasi ini disusun dalam format *microlearning* yang memungkinkan pembelajaran dilakukan dalam waktu singkat (Nugraha et al., 2021). Metode ini dirancang untuk meningkatkan retensi dan pemahaman, serta cocok untuk generasi yang lebih suka pembelajaran fleksibel dan berbasis teknologi (Hashim, 2018; Nafisah & Ghofur, 2020). Penyajian materi berbasis

visual juga memudahkan siswa dalam memahami konsep abstrak, sehingga akan lebih cepat dipahami (Kustandi et al., 2021). Aplikasi VULK-AR sebagai media digital geografi membuat pembelajaran lebih interaktif dan menarik dengan menghadirkan objek 3D dan simulasi langsung ke lingkungan nyata (Widyanti, 2021). Media pembelajaran ini juga dapat meningkatkan minat dan motivasi siswa dalam pembelajaran geografi berkat penyajian yang menarik dan juga interaktif (Hartiyani & Ghufron, 2020). Media digital geografi berbasis *Augmented Reality* berupa aplikasi VULK-AR sangat memudahkan untuk digunakan karena dirancang untuk memberikan kemudahan dan kebebasan bagi siswa dalam berinteraksi secara langsung dengan materi vulkanisme yang disajikan (Yulfa et al., 2022). Melalui penggunaan aplikasi VULK-AR ini siswa dapat belajar secara mandiri dengan mengeksplorasi materi kapan saja dan dimana saja melalui perangkat *smartphone* siswa (Ramdani et al., 2020). Selain menyajikan materi vulkanisme, aplikasi VULK-AR juga menyertakan kuis yang menarik. Kuis tersebut membuat proses belajar menjadi lebih menarik dan juga dapat mengukur pemahaman siswa terhadap materi vulkanisme (Abidinsyah et al., 2019).

Setelah menggunakan aplikasi VULK-AR, siswa cenderung menunjukkan peningkatan motivasi belajar dan minat dalam pembelajaran geografi. Visualisasi yang disediakan oleh aplikasi VULK-AR dapat membantu siswa lebih fokus dan terlibat aktif dalam proses pembelajaran. Penyajian materi geografi dalam aplikasi berbasis *Augmented Reality* menjadi lebih konkret, dengan melibatkan panca indra, sehingga materi lebih mudah dipahami (Damanik & Suharyanto, 2020). Selain itu, penggunaan *Augmented Reality* dalam pendidikan juga memungkinkan siswa untuk belajar secara kolaboratif, dengan berbagai pengalaman dan pengetahuan di sekitarnya. Secara keseluruhan *Augmented Reality* tidak hanya membuat pembelajaran lebih menarik tetapi juga efektif, serta dapat membantu siswa mencapai hasil belajar yang lebih baik.

Kesimpulan

Media pembelajaran *Augmented Reality* yang dinyatakan valid dan layak untuk digunakan pada pembelajaran geografi. Pengembangan media digital geografi berupa aplikasi VULK-AR ini memberikan penekanan pada penggunaan teknologi *Augmented Reality* untuk memberikan pengalaman belajar yang interaktif dan mendalam mengenai proses vulkanisme. Melalui integrasi animasi dan elemen AR, siswa dapat secara langsung mengamati dan memahami secara visual proses vulkanisme serta 3 tipe gunung api strato, maar, dan perisai. Sehingga media digital geografi ini dapat meningkatkan pemahaman siswa tentang fenomena geologi. Kelebihan AR pada pembelajaran geografi adalah memfasilitasi siswa untuk belajar secara mandiri serta menyuguhkan pengalaman belajar yang interaktif dan inovatif. Media pembelajaran ini dapat menjadi sarana yang efektif dalam memperkaya pembelajaran geografi dengan memanfaatkan kemajuan teknologi digital. Untuk penelitian selanjutnya, perlu dilakukan uji coba guna memastikan bahwa perangkat ini dapat diterapkan secara optimal dalam konteks pembelajaran. Selain itu, penambahan fitur untuk meningkatkan interaksi siswa dengan konten juga dianggap sebagai hal penting.

Daftar Pustaka

- Abidinsyah, A., Ramdiah, S., & Royani, M. (2019). The implementation of local wisdom-based learning and HOTS-based assessment: Teacher survey in Banjarmasin. *Jurnal Pendidikan Biologi Indonesia*, 5(3), 407–414.
- Afifah, N., Putra, A. K., & Haqqi, A. H. (2024). Virtual Reality Integration in Geography : Meningkatkan Environmental Problem Solving Ability Siswa pada Kajian Konservasi DAS. *Journal of Education Action Research*, 8(1), 11–22.

- Aguayo, C., Cochrane, T., & Narayan, V. (2017). Key themes in mobile learning: Prospects for learner-generated learning through AR and VR. *Australasian Journal of Educational Technology*, 33(6), 27–40.
- Allen, W. Michael & Sites, Richard. (2012). Leaving ADDIE for SAM: An Agile Model for Developing the Best Learning Experiences. *American Society for Training and Development*.
- Al Shuaili, K., Al Musawi, A. S., & Hussain, R. M. (2020). The effectiveness of using augmented reality in teaching geography curriculum on the achievement and attitudes of Omani 10th Grade Students. *Multidisciplinary Journal for Education, Social and Technological Sciences*, 7(2), 20-29.
- Anrichal, R., & Pramono, D. (2023). Strategi Adaptasi dan Dampak Implementasi Platform Merdeka Mengajar di SMA Kesatrian 2 Kota Semarang. *Jurnal Ilmiah Profesi Pendidikan*, 8(4), 2197-2209.
- Arif, S. H., Handoyo, B., & Rosyida, F. (2022). Pengembangan media pembelajaran Geografi menggunakan augmented reality pada materi vulkanisme berbasis spasial. *Jurnal Integrasi Dan Harmoni Inovatif Ilmu-Ilmu Sosial*, 2(2), 184–193.
- Arikunto, S. (2009). *Dasar-dasar Evaluasi Pendidikan* (edisi revisi). Jakarta: Bumi Aksara.
- Aripin, I., & Suryaningsih, Y. (2019). Pengembangan Media Pembelajaran Biologi Menggunakan Teknologi Augmented Reality (AR) Berbasis Android pada Konsep Sistem Saraf. *Sainsmat Jurnal Ilmu Pengetahuan Alam*, 8(2), 47.
- Damanik, E. M., & Suharyanto, C. E. (2020). Perancangan Aplikasi Pembelajaran Geografi Berbasis Android. *Computer and Science Industrial Engineering*, 3(2).
- Dewi, K., & Sahrina, A. (2021). Urgensi Augmented Reality sebagai Media Inovasi Pembelajaran dalam Melestarikan Kebudayaan. *Jurnal Integrasi dan Harmoni Inovatif Ilmu-Ilmu Sosial*, 1(10), 1077-1089.
- Fenais, A., Ariaratnam, S. T., Ayer, S. K., & Smilovsky, N. (2019). Integrating Geographic Information Systems and Augmented Reality for Mapping Underground Utilities. *Infrastructures*, 4(4).
- Freitas, C. D. T., Silva, R. O., Ramos, M. V., Porfírio, C. T. M. N., Farias, D. F., Sousa, J. S., Oliveira, J. P. B., Souza, P. F. N., Dias, L. P., & Grangeiro, T. B. (2020). Identification, characterization, and antifungal activity of cysteine peptidases from *Calotropis procera* latex. *Phytochemistry*, 169, 112163.
- Habibiyah, Z. M., Masruroh, H., & Putra, A. K. (2023). Analyzing the Needs for Augmented Reality-Based Learning Media in Geography Education: A Case Study of Landform Material. *Atlantis Press: International Conference on Social Knowledge Sciences and Education*, 13-24.
- Hartiyani, S. D., & Ghufron, A. (2020). Pengembangan Dan Kelayakan Multimedia Berbasis Android Untuk Pembelajaran Bahasa Arab di Islamic Boarding School Bina Umat. Kwangsan: *Jurnal Teknologi Pendidikan*, 8(2), 332457.
- Hashim, H. (2018). Application of Technology in the Digital Era Education. *International Journal of Research in Counseling and Education*, 1(2), 1.
- Haswin, A., & Putra, A. K. (2024). Pengembangan Virtual Tour 360° sebagai Media Belajar IPS Materi Kepulauan Maritim. *Jurnal Integrasi dan Harmoni Inovatif Ilmu-Ilmu Sosial*, 4(8), 6-6.
- Hayuantara, I. (2020). Pengembangan Media Pembelajaran Berbasis Augmented Reality Book Pelajaran Geografi Sub Pokok Bahasan Litosfer dengan Konsep Gamification (Studi Kasus: SMA Laboratorium Undhiksa Singaraja). *Doctoral dissertation, Universitas Pendidikan Ganesha*.

- Hedley, D., Uljarević, M., Foley, K. R., Richdale, A., & Trollor, J. (2018). Risk and protective factors underlying depression and suicidal ideation in Autism Spectrum Disorder. *Depression and Anxiety*, 35(7), 648–657.
- Kristanti, Q. V. D., & Putra, A. K. (2024). Pemanfaatan 3D Maps Berbasis Google Earth untuk Membangun Kesadaran Spasial Kebencanaan di Era Society 5.0. *Jurnal MIPA dan Pembelajarannya (JMIPAP)*, 4(2), 4-4.
- Kurniawati, M., Santanapurba, H., & Kusumawati, E. (2019). Penerapan Blended Learning Menggunakan Model Flipped Classroom Berbantuan Google Classroom Dalam Pembelajaran Matematika Smp. *EDU-MAT: Jurnal Pendidikan Matematika*, 7(1), 8–19.
- Kustandi, C., Farhan, M., Zianadezdha, A., Fitri, A. K., & L, N. A. (2021). Pemanfaatan Media Visual Dalam Tercapainya Tujuan Pembelajaran. *Akademika*, 10(2), 291–299.
- Lahay, R. J., & Mohamad, N. (2020). Peta Puzzle 3D berbasis Mobile Augmented Reality sebagai Prototipe Media Pembelajaran Geografi. *Jambura Geo Education Journal*, 1(1), 26-31.
- Lahay, R. J. (2023). Visualization of Volcanic Landform with Augmented Reality. *Jambura Geo Education Journal*, 15(2), 230-235.
- Lukman, M. I., Handoyo, B., & Utomo, D. H. (2021). Pengembangan Sumber Belajar Geografi Berbasis Spasial dengan Augmented Reality untuk Meningkatkan Kemampuan Berpikir Tingkat Tinggi. *Jurnal Pendidikan: Teori, Penelitian, dan Pengembangan*, 6(12), 1869-1875.
- Nafisah, D., & Ghofur. (2020). Pengembangan Media Pembelajaran Scan Barcode Berbasis Android Dalam Pembelajaran Ips. *EduTeach: Jurnal Edukasi Dan Teknologi Pembelajaran*, 1(2), 144–152.
- Nugraha, H., Rusmana, A., Khadijah, U., & Gemiharto, I. (2021). Microlearning Sebagai Upaya dalam Menghadapi Dampak Pandemi pada Proses Pembelajaran. *Jurnal Inovasi Dan Teknologi Pembelajaran: Kajian Dan Riset Dalam Teknologi Pembelajaran*, 8(3), 225–236.
- Panduwinata, L. F., Wulandari, R. N. A., & Zanky, M. N. (2021). Pengembangan Media Pembelajaran berbasis Augmented Reality (AR) pada Materi Prosedur Penyimpanan Arsip. *Lectura: Jurnal Pendidikan*, 12(1), 15-28.
- Pramono, A., & Setiawan, M. D. (2019). Pemanfaatan Augmented Reality Sebagai Media Pembelajaran Pengenalan Buah-Buahan. *INTENSIF: Jurnal Ilmiah Penelitian Dan Penerapan Teknologi Sistem Informasi*, 3(1), 54.
- Putra, A. K., Khalidy, D. A., Handoyo, B., Soekamto, H., Kristanti, Q. V. D., Kholifah, E. N., Putri, D. P. A., & Ayu, Y. F. P. (2024). Inovasi Merdeka Belajar : Pelatihan Penerapan Microlearning dan Inovasi Merdeka Belajar : Pelatihan Penerapan Microlearning Microcontent untuk Pembelajaran Geografi Berdiferensiasi. *Jurnal Pengabdian Magister Pendidikan IPA*, 7(1).
- Putra, A. K., Purwanto, Islam, M. N., Hidayat, W. N., & Fahmi, M. R. (2022). Development of Mobile Virtual Field Trips in Ijen Crater Geosites Based on 3600 Auto Stereoscopic and Geospatial Technology As Geography Learning Media. *Geojournal of Tourism and Geosites*, 41(2), 456–463.
- Putri, G. B., Putra, A. K., Romero, D. C. A., & Samsul (2024). Student Perceptions about the Use of Immersive Media Virtual Field Learning Study of Ijen Geosite Geopark on Interests in Studying Banyuwangi Geography. *Future Space: Studies in Geo-Education*, 1(2), 145-163.

- Ramdani, A., Jufri, A. W., & Jamaluddin, J. (2020). Pengembangan Media Pembelajaran Berbasis Android pada Masa Pandemi Covid-19 untuk Meningkatkan Literasi Sains Peserta Didik. *Jurnal Kependidikan: Jurnal Hasil Penelitian Dan Kajian Kepustakaan Di Bidang Pendidikan, Pengajaran Dan Pembelajaran*, 6(3), 433–440.
- Sari, I. N., & Sulisworo, D. (2023). Pengembangan LKPD Berbasis Augmented Reality Sebagai Media Pembelajaran Matematika. *Jurnal Nasional Pendidikan Matematika*, 7(1), 1-11.
- Seviana, R., Suharto, Y., Rosyida, F., & Masitoh, F. (2023). Aplikasi Volcano Berbasis Android Pada Materi Vulkanisme Sebagai Media Microlearning Geografi. *Jurnal Ilmiah Pendidikan Profesi Guru*, 6(1), 196–208.
- Syahputra, M. F., Hardywantara, F., & Andayani, U. (2020). Augmented Reality Virtual House Model Using ARCore Technology Based on Android. *Journal of Physics: Conference Series*, 1566(1), 012018.
- Umam, Q., & Sunaryo, S. (2019). Toplesfer: Media Sederhana Untuk Mendukung Pembelajaran Demonstrasi Pada Pelajaran Geografi. *Jurnal Ilmiah Ilmu Sosial*, 5(2), 81-90.
- Wahyuni, S., Indrawati, I., Sudarti, S., & Suana, W. (2017). Developing science process skills and problem-solving abilities based on outdoor learning in junior high school. *Jurnal Pendidikan IPA Indonesia*, 6(1), 165–169.
- Widyanti, R. (2021). Pengembangan E-Modul Berbantuan Augmented Reality Terintegrasi STEM untuk Melatih Keterampilan Berpikir Kreatif Siswa. *Doctoral dissertation, Universitas Lampung*.
- Yulfa, A., Arif, D. A., Ernawati, E., Susetyo, B. B., Wijayanto, B., Andreas, A., & Fauzi, T. I. (2022). Pembangunan Geo-Augmented Reality untuk Pengembangan Pembelajaran Geografi Berbasis Project Based Learning. *Abdi: Jurnal Pengabdian dan Pemberdayaan Masyarakat*, 4(1), 199-204.