

Pengembangan Media Augmented Reality (AR) Berbasis STEM untuk Meningkatkan Kemampuan Berpikir Kritis dalam Pembelajaran IPA

Syahrial A^{1*}, Yulia Hasan², Wahyudi, Muhammad Zuhdi⁴

^{1,2,3,4} Pendidikan Fisika, FKIP, Universitas Mataram, Mataram, Indonesia

DOI: <https://doi.org/10.29303/Goescienceed.v6i4.1554>

Article Info

Received: 20 November 2025

Revised: 01 Desember 2025

Accepted: 02 Desember 2025

Correspondence:

Email:

syahrial_ayub@unram.ac.id

Abstract: This study aims to develop an Augmented Reality (AR)-based STEM learning media and examine its validity and effectiveness in improving students' critical thinking skills in science learning. The research employed a 4D type Research and Development (R&D) model consisting of the Define, Design, Develop, and Disseminate stages, with expert validation, pretest-posttest assessments, N-Gain analysis, and teacher-student response questionnaires used as data collection instruments. The results and discussion indicate that the developed media is highly feasible, obtaining an average expert validation score of 3.5 and an Aiken's V value of 0.83, and is effective in enhancing critical thinking skills, as shown by an increase in students' scores from 57.5 to 94.4 and an N-Gain value of 0.38 categorized as moderate. The study concludes that the AR-based STEM media is valid, well-received, and sufficiently effective for science learning to support the improvement of students' critical thinking skills.

Keywords: Augmented Reality; STEM; Critical Thinking; Science Learning; Learning Media

Citation: Syahrial, A., Hasan, Y., Wahyudi, W., & Zuhdi, M. (2025). Pengembangan Media Augmented Reality (AR) Berbasis STEM untuk Meningkatkan Kemampuan Berpikir Kritis dalam Pembelajaran IPA. *Journal Pendidikan, Sains, Geologi dan Geofisika (GeoScienceEd Journal)*, 6(4), 2296-2302. doi: <https://doi.org/10.29303/Goescienceed.v6i4.1554>

Pendahuluan

Pembelajaran IPA di sekolah menuntut proses belajar yang tidak hanya berorientasi pada penguasaan konsep, tetapi juga pada pengembangan kemampuan berpikir tingkat tinggi (Mansur & Salim, 2018). Peningkatan kualitas pembelajaran IPA menjadi kebutuhan penting untuk menghadapi kompleksitas permasalahan abad 21. Kompetensi yang relevan dengan tuntutan tersebut meliputi kemampuan berpikir kritis, pemecahan masalah, dan literasi teknologi (Rosida & Nuvitalia, 2024). Lingkungan belajar yang menstimulasi interaksi aktif menjadi faktor penentu tercapainya kompetensi tersebut.

Kemampuan berpikir kritis memiliki peran fundamental dalam membantu siswa menganalisis informasi, mengevaluasi argumen, dan mengambil keputusan secara rasional (Roviati & Widodo, 2019). Pembelajaran IPA yang menekankan pada proses ilmiah memberikan peluang luas untuk menumbuhkan

kemampuan tersebut (Diharjo et al., 2017). Siswa diharapkan mampu menilai bukti, membangun penjelasan, dan mengembangkan interpretasi ilmiah berdasarkan data (Suraya et al., 2019). Kemampuan ini sangat relevan untuk mendorong peserta didik agar mampu merespons perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi.

Kondisi pembelajaran IPA di banyak sekolah menunjukkan bahwa aktivitas belajar masih didominasi oleh metode ceramah dan latihan soal yang bersifat prosedural. Pola pembelajaran tersebut membatasi kesempatan siswa untuk mengeksplorasi fenomena secara mendalam. Situasi ini menyebabkan kemampuan berpikir kritis siswa berkembang secara kurang optimal. Pembelajaran yang bersifat pasif juga mengurangi keterlibatan siswa dalam proses penalaran ilmiah (Yuniarti et al., 2023).

Integrasi teknologi pembelajaran menjadi salah satu pendekatan yang relevan untuk mengatasi

Email: syahrial_ayub@unram.ac.id

keterbatasan metode konvensional (Zahara et al., 2023). Teknologi Augmented Reality (AR) menawarkan pengalaman belajar yang interaktif melalui visualisasi objek abstrak secara nyata (Hikmandayani et al., 2021). Media AR mampu menghubungkan representasi digital dengan dunia nyata sehingga siswa dapat mengeksplorasi konsep secara lebih konkret (Lailaningrum & Sulastri, 2025). Potensi ini menjadikan AR sebagai sarana efektif untuk mendorong kemampuan berpikir kritis (Pramesti & Olivia, 2024).

Pembelajaran berbasis STEM memberikan kerangka yang mengintegrasikan sains, teknologi, teknik, dan matematika secara terpadu (Taljaard, 2016). Penerapan pendekatan STEM memberikan kesempatan kepada siswa untuk memecahkan masalah melalui proses investigasi, desain, dan refleksi. Integrasi AR dengan pendekatan STEM memungkinkan kegiatan pembelajaran yang lebih aplikatif dan kontekstual (Camara et al., 2024). Kolaborasi kedua pendekatan tersebut dapat meningkatkan keterlibatan siswa dalam memahami konsep IPA secara komprehensif.

Penggunaan AR dalam konteks STEM memberikan ruang bagi siswa untuk melakukan eksplorasi yang lebih luas terhadap fenomena ilmiah (Alfitriani et al., 2021). Visualisasi tiga dimensi yang disajikan melalui AR membantu siswa memahami konsep abstrak yang sulit dijangkau melalui metode konvensional (Hidayat et al., 2025). Aktivitas eksploratif tersebut menuntut siswa untuk mengamati, menafsirkan, dan mengevaluasi informasi secara kritis. Pengalaman belajar ini dinilai relevan untuk meningkatkan kemampuan berpikir kritis secara sistematis (Fakhriyah, 2014).

Media AR berbasis STEM memiliki potensi untuk menciptakan suasana pembelajaran yang aktif dan berpusat pada siswa (Supriadi et al., 2022). Siswa memperoleh kesempatan untuk terlibat langsung dalam proses observasi dan analisis fenomena yang disajikan melalui teknologi AR. Kegiatan tersebut mendorong siswa mengajukan pertanyaan, memeriksa data, dan mengembangkan solusi alternatif (Intania et al., 2023). Pembelajaran yang partisipatif seperti ini diperlukan dalam penguatan kemampuan berpikir kritis.

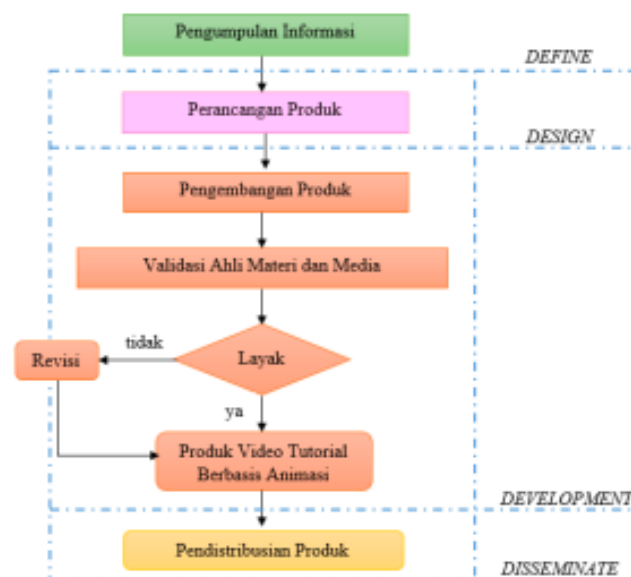
Analisis kebutuhan pembelajaran menunjukkan bahwa guru membutuhkan media inovatif yang mampu meningkatkan interaksi siswa dengan materi IPA. Media AR menawarkan solusi yang mampu meningkatkan motivasi, keterlibatan, dan pemahaman konseptual siswa (Ramadhani, 2025). Kebutuhan ini memperkuat urgensi pengembangan media yang menggabungkan AR dengan pendekatan pembelajaran berbasis STEM (Swisnandya et al., 2025). Perangkat pembelajaran inovatif tersebut diharapkan dapat memperbaiki kualitas proses belajar di kelas.

Pengembangan media AR berbasis STEM memerlukan proses perancangan yang sistematis agar media yang dihasilkan sesuai dengan karakteristik siswa dan tujuan pembelajaran. Setiap komponen dalam media harus disesuaikan dengan prinsip pembelajaran bermakna dan pengembangan kemampuan berpikir kritis. Validasi ahli diperlukan untuk memastikan kelayakan media sebelum dilakukan implementasi. Proses pengembangan ini menjadi bagian penting dalam menciptakan media pembelajaran yang efektif dan bernilai pedagogis.

Penelitian ini dilakukan untuk menghasilkan media AR berbasis STEM yang mampu meningkatkan kemampuan berpikir kritis dalam pembelajaran IPA. Fokus penelitian diarahkan pada proses pengembangan, kelayakan produk, dan analisis peningkatan kemampuan siswa setelah penggunaan media. Media yang dikembangkan diharapkan dapat memberikan kontribusi terhadap inovasi pembelajaran IPA. Hasil penelitian ini diharapkan menjadi referensi bagi pengembangan media pembelajaran berbasis teknologi pada konteks pendidikan sains.

Metode

Penelitian ini menggunakan metode Research and Development (R&D) dengan model 4D, yang terdiri atas tahap Define, Design, Develop, dan Disseminate. Model ini dipilih untuk menghasilkan media Augmented Reality (AR) berbasis STEM yang valid, praktis, dan memiliki potensi efektivitas dalam meningkatkan kemampuan berpikir kritis siswa. Seluruh tahapan dilaksanakan dalam konteks pembelajaran IPA di SMP Islam Nurul Mujahiddin NW Penimbung, sebagai lokasi penelitian. Adapun alur penelitian pengembangan model 4D sebagai berikut (Thiagarajan, 1974):



Gambar 1. Alur Penelitian Pengembangan 4D

Pada tahap Define, dilakukan pengidentifikasian kebutuhan pengajaran IPA melalui observasi di kelas, wawancara dengan guru, serta analisis terhadap kurikulum. Dari hasil analisis, terungkap bahwa siswa memerlukan media pembelajaran yang lebih interaktif, relevan dengan konteks, serta mampu mendorong kemampuan berpikir kritis mereka. Langkah ini menghasilkan perumusan kompetensi, karakteristik siswa, analisis materi, dan spesifikasi kebutuhan media AR berbasis STEM.

Tahap Design mencakup penyusunan rancangan untuk media AR berbasis STEM yang meliputi visualisasi tiga dimensi, simulasi konsep, dan kegiatan investigatif. Desain ini dibuat berdasarkan kebutuhan pembelajaran IPA dan indikator kemampuan berpikir kritis seperti interpretasi, analisis, evaluasi, dan inferensi. Pada tahap ini juga ditetapkan instrumen untuk validasi, alat tes kemampuan berpikir kritis, serta skenario penggunaan media saat pembelajaran.

Pada tahap Develop, dilakukan pembuatan media AR, validasi oleh para ahli, dan pengujian keterbacaan produk. Validasi dilakukan oleh seorang ahli dalam materi IPA, ahli media pembelajaran, serta ahli teknologi pendidikan untuk menilai aspek kelayakan isi, desain grafis, kesesuaian pedagogis, dan kualitas teknis dari AR. Media yang telah direvisi kemudian dites dalam skala terbatas kepada siswa SMP Islam Nurul Mujahiddin NW Penimbung untuk menilai respons siswa dan mengukur peningkatan pada kemampuan berpikir kritis.

Tahap Disseminate dilakukan dalam skala terbatas dengan menyebarkan produk kepada guru IPA sebagai langkah awal implementasi. Media yang sudah diuji tersebut dipresentasikan kepada pihak sekolah sebagai pilihan perangkat pembelajaran inovatif yang dapat diterapkan pada topik-topik IPA lainnya. Langkah ini juga memberikan kesempatan untuk mendapatkan umpan balik lebih lanjut sebelum diseminasi yang lebih luas dilakukan.

Hasil dan Pembahasan

1. Hasil Validasi

Dalam proses pengembangan media pembelajaran, uji validitas menjadi langkah penting untuk memastikan kualitas, kelayakan, dan ketepatan produk sebelum diimplementasikan dalam pembelajaran. Validasi dilakukan oleh para ahli yang menilai aspek isi, kebahasaan, penyajian, serta kegrafikan untuk memastikan media yang dikembangkan sesuai dengan tujuan pedagogis dan karakteristik peserta didik. Hasil penilaian ini menjadi dasar pengambilan keputusan untuk melakukan perbaikan maupun penyempurnaan produk. Berikut

disajikan hasil validasi ahli terhadap media yang dikembangkan.

Tabel 1. Hasil Validasi Ahli

Aspek	Skor Ahli	Skor Ahli	Rata-rata	Aiken's V	Kategori
	1	2			
Kesesuaian Isi	4	3	3.5	0.83	Sangat Valid
Kebahasaan	3	4	3.5	0.83	Sangat Valid
Penyajian	4	3	3.5	0.83	Sangat Valid
Kegrafikan	3	4	3.5	0.83	Sangat Valid

Hasil validasi ahli menunjukkan bahwa seluruh aspek penilaian, kesesuaian isi, kebahasaan, penyajian, dan kegrafikan memperoleh nilai rata-rata 3,5 dari skala 4 dan nilai Aiken's V sebesar 0,83. Nilai ini termasuk dalam kategori sangat valid, sehingga media AR berbasis STEM dinyatakan layak untuk diimplementasikan pada tahap uji coba. Validitas tinggi tersebut menunjukkan bahwa media telah memenuhi standar kualitas materi, tampilan, dan keterbacaan yang diperlukan dalam pembelajaran IPA.

Aspek kesesuaian isi memiliki nilai sangat valid karena materi yang disajikan melalui AR dianggap akurat, kontekstual, dan selaras dengan tujuan pembelajaran berbasis STEM. Unsur konteks dan penguatan konsep visual yang muncul pada teknologi AR sangat penting menurut (Ennis, 2011) yang menyatakan bahwa kemampuan berpikir kritis berkembang melalui pemahaman konsep yang jelas dan berbasis bukti. Media AR yang tervalidasi dengan baik mampu menyediakan stimulus visual dan informasi yang mendukung siswa dalam menganalisis data dan membangun argumen logis.

Aspek kebahasaan memperoleh kategori sangat valid karena penggunaan bahasa di dalam media jelas, komunikatif, dan sesuai tingkat perkembangan peserta didik SMP. Bahasa yang tepat sangat penting dalam pembelajaran berbasis berpikir kritis. Menurut (Marudut et al., 2020) mengemukakan bahwa kemampuan berpikir kritis menuntut siswa memahami instruksi, menginterpretasi masalah, dan menilai informasi secara akurat. Kebahasaan yang baik dalam media AR memudahkan siswa mengikuti alur berpikir ilmiah dan menghindari miskonsepsi.

Aspek penyajian juga mendapatkan nilai sangat valid, yang menunjukkan bahwa struktur informasi, alur pembelajaran, dan integrasi elemen STEM tersusun secara sistematis. Media AR yang terorganisasi baik membantu siswa menghubungkan proses observasi, eksperimen, dan penalaran—komponen utama dalam berpikir kritis menurut teori

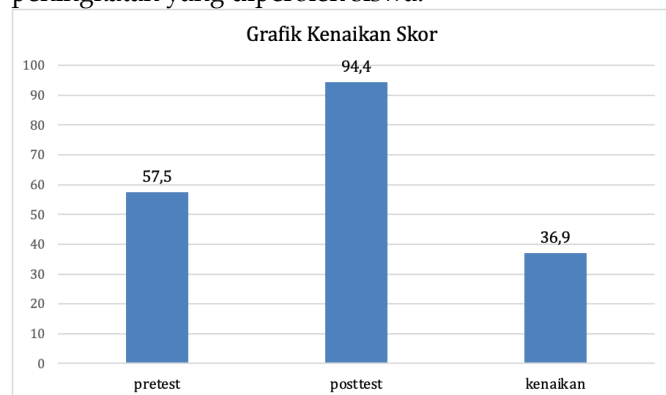
cognitive load theory oleh (Sweller et al., 2011) Penyajian yang sistematis memudahkan siswa menggunakan kemampuan seperti klarifikasi, inferensi, evaluasi, dan justifikasi dalam aktivitas pembelajaran.

Aspek kegrafikan memperoleh nilai sangat valid karena kualitas visual, ilustrasi, dan tampilan AR dinilai menarik serta mendukung pemahaman materi. Visualisasi dalam AR mampu menampilkan objek abstrak secara konkret dan interaktif, sesuai dengan pendapat (Jonassen, 2011) yang menyatakan bahwa teknologi pembelajaran visual memperkuat proses berpikir kritis melalui penyajian representasi yang memfasilitasi analisis dan evaluasi. Dengan tampilan grafis yang baik, siswa dapat lebih mudah mengamati gejala fisis, mengidentifikasi hubungan kausal, dan menarik kesimpulan secara logis.

Secara keseluruhan, validitas tinggi pada semua aspek menunjukkan bahwa media AR berbasis STEM telah memenuhi standar pedagogis dan teknologis yang diperlukan dalam pembelajaran IPA. Tingginya validitas tersebut memiliki implikasi langsung terhadap pencapaian tujuan penelitian, yaitu meningkatkan kemampuan berpikir kritis. Media yang tervalidasi dengan baik memberikan fondasi kuat bagi siswa untuk terlibat dalam proses berpikir tingkat tinggi, termasuk analisis, penilaian, dan penyusunan kesimpulan ilmiah. Dengan demikian, hasil validasi mendukung bahwa produk pengembangan ini berpotensi kuat untuk mengembangkan kemampuan berpikir kritis siswa sebagaimana diarahkan oleh berbagai teori ahli.

2. Hasil Pretest dan Posttest

Analisis peningkatan kemampuan berpikir kritis siswa dilakukan dengan membandingkan nilai pretest dan posttest untuk melihat perbedaan skor hasil kemampuan berpikir kritis pada media pembelajaran yang dikembangkan. Penyajian grafik berikut bertujuan untuk memvisualisasikan perubahan skor secara lebih jelas sehingga memudahkan interpretasi hasil penelitian. Berikut grafik yang menampilkan perbandingan nilai pretest, posttest, dan besarnya peningkatan yang diperoleh siswa.



Gambar 2. Hasil Peningkatan Skor Pretest-Posttest

Grafik kenaikan skor menunjukkan adanya peningkatan kemampuan berpikir kritis yang sangat signifikan setelah siswa mengikuti pembelajaran menggunakan media Augmented Reality (AR) berbasis STEM. Nilai pretest sebesar 57,5 menggambarkan bahwa kemampuan berpikir kritis siswa masih berada pada kategori sedang, di mana siswa belum sepenuhnya mampu melakukan analisis mendalam, menilai informasi secara logis, atau menyusun argumen dengan benar. Kondisi ini konsisten dengan karakteristik pembelajaran IPA konvensional yang cenderung menekankan prosedur dan hafalan daripada proses berpikir tingkat tinggi.

Nilai posttest meningkat tajam menjadi 94,4, menunjukkan bahwa mayoritas siswa telah mampu mengembangkan indikator berpikir kritis seperti klarifikasi, interpretasi, inferensi, dan evaluasi. Peningkatan ini mencerminkan keberhasilan media AR dalam memberikan pengalaman belajar interaktif yang memungkinkan siswa mengeksplorasi objek IPA secara visual dan kontekstual. Pembelajaran berbasis STEM turut memperkuat proses tersebut karena siswa dilibatkan dalam pemecahan masalah, desain solusi, dan interpretasi fenomena ilmiah secara terintegrasi.

Selisih peningkatan sebesar 36,9 poin menunjukkan bahwa media AR berbasis STEM tidak hanya menarik dari sisi visual, tetapi juga efektif secara pedagogis dalam menstimulasi proses kognitif tingkat tinggi. Visualisasi 3D yang ditampilkan melalui AR membantu siswa memahami konsep abstrak, sementara pendekatan STEM mendorong mereka untuk melakukan penyelidikan, eksperimen, dan refleksi. Kombinasi kedua pendekatan ini sesuai dengan teori yang menegaskan bahwa kemampuan berpikir kritis berkembang melalui aktivitas belajar yang menuntut analisis, evaluasi, dan konstruksi makna secara mandiri (Ervina et al., 2023).

Secara umum, diagram tersebut menunjukkan bahwa penggunaan media AR yang berfokus pada STEM dapat memberikan efek yang nyata dan signifikan dalam meningkatkan keterampilan berpikir kritis siswa dalam proses belajar IPA. Peningkatan skor yang tinggi ini menjadi indikator kuat bahwa media yang dikembangkan efektif dan relevan untuk digunakan dalam penguatan kemampuan berpikir tingkat tinggi pada konteks pendidikan sains.

3. Hasil N-Gain KBK

Analisis N-Gain digunakan untuk mengetahui tingkat efektivitas media pembelajaran terhadap peningkatan kemampuan berpikir kritis siswa. Perhitungan N-Gain memberikan gambaran seberapa besar perubahan skor yang dicapai setelah penggunaan media dibandingkan dengan kondisi awal. Nilai ini menjadi indikator penting untuk menilai keberhasilan media Augmented Reality (AR) berbasis STEM dalam

mendukung proses pembelajaran IPA. Tabel berikut menyajikan ringkasan hasil perhitungan N-Gain dari 35 responden.

Tabel 2. Hasil Perhitungan N-Gain

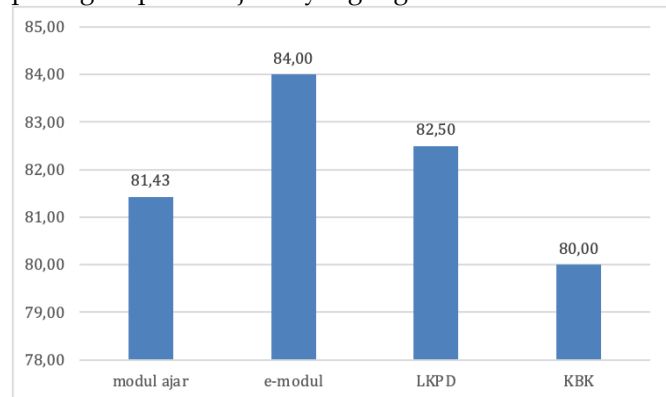
Responden	Pretest	Posttest	N-Gain	Kategori
35 orang	57,5	94,4	0.38	Sedang

Hasil perhitungan N-Gain rata-rata sebesar 0,38 menunjukkan bahwa peningkatan kemampuan berpikir kritis berada pada kategori sedang. Nilai ini menunjukkan bahwa penggunaan media Augmented Reality (AR) berbasis STEM memberikan pengaruh positif terhadap peningkatan kemampuan berpikir kritis siswa, meskipun belum mencapai kategori tinggi.

Peningkatan ini sejalan dengan karakteristik pembelajaran AR-STEM yang mendorong siswa melakukan analisis, interpretasi, dan evaluasi terhadap fenomena IPA melalui visualisasi interaktif dan aktivitas pemecahan masalah.

4. Respon Guru dan Siswa

Penilaian terhadap media pembelajaran yang dikembangkan tidak hanya berfokus pada kelayakan dan efektivitasnya, tetapi juga pada bagaimana guru dan siswa merespons penggunaannya dalam proses pembelajaran. Respon tersebut menjadi indikator penting untuk mengetahui tingkat penerimaan, kemudahan penggunaan, serta manfaat media dalam membantu pemahaman materi IPA. Analisis angket digunakan untuk menggali persepsi guru dan siswa terkait kualitas media, mulai dari aspek tampilan hingga kebermanfaatannya pedagogisnya. Berikut grafik yang menyajikan hasil respon guru dan siswa terhadap perangkat pembelajaran yang digunakan.



Gambar 3. Hasil Respon Guru Dan Siswa Terhadap Perangkat Pembelajaran

Hasil angket respon guru dan siswa menunjukkan bahwa perangkat pembelajaran yang digunakan selama proses penelitian memperoleh penilaian dalam kategori baik hingga sangat baik. Grafik memperlihatkan bahwa e-modul memperoleh nilai tertinggi yaitu 84,00, diikuti oleh LKPD dengan skor 82,50, serta modul ajar dengan skor 81,43. Sementara itu, KBK mendapatkan skor 80,00, yang

tetap termasuk dalam kategori baik. Perbedaan nilai antarperangkat mencerminkan variasi tingkat ketertarikan, kemudahan penggunaan, dan relevansi masing-masing media bagi pengguna.

Nilai tertinggi pada e-modul menunjukkan bahwa guru dan siswa lebih responsif terhadap media pembelajaran digital yang interaktif, praktis, dan mudah diakses. E-modul dinilai memiliki tampilan visual yang lebih menarik, fitur navigasi yang jelas, serta mampu menghadirkan materi secara efektif. Hasil ini selaras dengan teori Heinich (2010), yang menegaskan bahwa media berbasis teknologi dapat meningkatkan motivasi dan keterlibatan belajar melalui penyajian visual yang lebih kaya.

LKPD dan modul ajar juga memperoleh nilai tinggi karena keduanya berperan sebagai panduan terstruktur dalam proses pembelajaran. LKPD memberikan dukungan pada aktivitas penyelidikan dan pemecahan masalah, sementara modul ajar menyediakan alur materi yang sistematis. Respon guru dan siswa yang positif terhadap kedua perangkat menunjukkan bahwa pembelajaran IPA tetap membutuhkan bahan ajar yang terarah, terutama ketika digunakan bersama media digital seperti e-modul.

Nilai KBK yang berada pada kategori baik menunjukkan bahwa perangkat ini tetap relevan dalam membantu guru merancang pembelajaran. Meskipun tidak setinggi e-modul, respon baik pada KBK menegaskan bahwa komponen kompetensi dasar masih menjadi bagian penting untuk menyelaraskan tujuan, materi, dan aktivitas pembelajaran. Guru menilai bahwa KBK membantu memastikan bahwa proses belajar tetap berada dalam kerangka kurikulum.

Secara umum, respon guru dan siswa menunjukkan penerimaan yang tinggi terhadap perangkat pembelajaran yang digunakan. Tingginya nilai pada e-modul dan LKPD menunjukkan bahwa perpaduan antara media digital dan perangkat cetak memberikan pengalaman belajar yang efektif. Hasil ini mendukung bahwa inovasi media, terutama yang berbasis teknologi, mampu meningkatkan minat, keterlibatan, dan pemahaman siswa dalam pembelajaran IPA.

Kesimpulan

Penelitian ini bertujuan mengembangkan media Augmented Reality (AR) berbasis STEM yang valid dan efektif untuk meningkatkan kemampuan berpikir kritis dalam pembelajaran IPA. Hasil validasi ahli terhadap empat aspek kesesuaian isi, kebahasaan, penyajian, dan kegrafikan yang menunjukkan nilai rata-rata 3,5 dari skala 4 dengan nilai Aiken's V = 0,83, yang termasuk kategori sangat valid. Hasil ini

membuktikan bahwa media yang dikembangkan telah memenuhi tujuan kelayakan produk.

Pengukuran efektivitas melalui pretest dan posttest menunjukkan adanya peningkatan yang signifikan. Nilai rata-rata pretest sebesar 57,5, sedangkan nilai posttest meningkat menjadi 94,4, sehingga terjadi selisih peningkatan sebesar 36,9 poin. Analisis N-Gain menghasilkan nilai 0,38, yang berada pada kategori sedang, sehingga media dinyatakan cukup efektif dalam meningkatkan kemampuan berpikir kritis siswa.

Respon guru dan siswa menunjukkan nilai rata-rata antara 80,00 – 84,00, berada pada kategori baik hingga sangat baik. Hasil ini menunjukkan bahwa media diterima dengan baik, mudah digunakan, dan dinilai mampu membantu memahami materi IPA. Secara keseluruhan, media AR berbasis STEM yang dikembangkan berhasil memenuhi seluruh tujuan penelitian, yaitu menghasilkan media yang valid, responsif, dan efektif dalam meningkatkan kemampuan berpikir kritis siswa.

Referensi

- Alfitriani, N., Maula, W. A., & Hadiapurwa, A. (2021). Penggunaan Media Augmented Reality dalam Pembelajaran Mengenal Bentuk Rupa Bumi. *Jurnal Penelitian Pendidikan*, 38(1), 30–38. <https://doi.org/10.15294/jpp.v38i1.30698>
- Camara, O. S., Nisi, V., & Romão, T. (2024). Augmented reality interactive experiences for multi-level chemistry understanding. In *International Journal of Child-Computer Interaction* (Vol. 42). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.ijcci.2024.100681>
- Diharjo, R. F., Budijanto, & Utomo, D. H. (2017). Pentingnya Kemampuan Berfikir Kritis Siswa dalam Paradigma Pembelajaran Konstruktivistik. *Prosiding TEP & PDs*, 4(39), 445–449. <http://pasca.um.ac.id/conferences/index.php/sntepnpdas/article/view/899/571>
- Ennis, R. H. (2011). *The Nature of Critical Thinking: An Outline of Critical Thinking Dispositions and Abilities*. https://education.illinois.edu/docs/default-source/faculty-documents/robert-ennis/thenatureofcriticalthinking_51711_000.pdf
- Ervina, A., Suharto, Y., & Rahmawati, R. (2023). Penerapan Model Problem Based Learning untuk Meningkatkan Kemampuan Berpikir Kritis Siswa Kelas X. *Journal of Geographical Sciences and Education*, 1(2), 64–78. <https://doi.org/10.69606/geography.v1i2.60>
- Fakhriyah, F. (2014). Penerapan problem based learning dalam upaya mengembangkan kemampuan berpikir kritis mahasiswa. *Jurnal Pendidikan IPA Indonesia*, 3(1), 95–101. <https://doi.org/10.15294/jpii.v3i1.2906>
- Hidayat, Y., Sabarudin, S., & Mawardi, A. C. (2025). Augmented Reality (AR) Sebagai Media Interaktif Dalam Pembelajaran Bahasa Arab Di UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta. *Mahira: Journal of Arabic Studies & Teaching*, 3(2), 113–123. <https://doi.org/10.14421/mahira.2025.32.04>
- Hikmandayani, Ahmad, M., Syarif, S., Budu, Idris, I., & Stang. (2021). Learning media based on augmented reality (AR) increased the skill of physical examination of the integumentary system of pregnant women in midwifery students. *Gaceta Sanitaria*, 35, S302–S305. <https://doi.org/10.1016/j.gaceta.2021.10.040>
- Intania, S., Wibowo, T., & Yuzianah, D. (2023). Analisis Kemampuan Berpikir Kritis Siswa SMP dalam Menyelesaikan Masalah Literasi Numerasi. *Jurnal Sains Dan Teknologi*, 5(1), 434–440. <https://doi.org/10.55338/saintek.v5i1.1614>
- Jonassen, D. H. (2011). *Learning to Solve Problems A Handbook for Designing Problem Solving Learning Environments*. Routledge.
- Lailaningrum, D., & Sulastrri Rini Rindrayani. (2025). Pembelajaran Berdiferensiasi Dengan Metode Pembelajaran Berbasis Teknologi Menggunakan Aplikasi Assemblr EDU. *JIIPSI: Jurnal Ilmiah Ilmu Pengetahuan Sosial Indonesia*, 5(2), 190–203. <https://doi.org/10.21154/jiipsi.v5i2.4902>
- Mansur, M., & Salim, A. (2018). *Penerapan Model Pembelajaran Problem Based Learning (Pbl) Untuk Meningkatkan Hasil Belajar Ipa-Fisika Siswa Kelas Viic SMP Negeri 1 Ternate*. 3(1).
- Marudut, M. R. H., Bachtiar, I. G., Kadir, K., & Iasha, V. (2020). Peningkatan Kemampuan Berpikir Kritis dalam Pembelajaran IPA melalui Pendekatan Keterampilan Proses. *Jurnal Basicedu*, 4(3), 577–585. <https://doi.org/10.31004/basicedu.v4i3.401>
- Pramesti, A. P., & Olivia, S. O. (2024). Virtual Reality Dan Augmented Reality Dalam Arsitektur Digital. *JoDA Journal of Digital Architecture*, 3(1), 27–33. <https://doi.org/10.24167/joda.v3i1.12648>
- Ramadhani, W. P. (2025). Eksplorasi Kemampuan Berpikir Geometri Siswa Sd Melalui Media Pembelajaran Berbasis Augmented Reality Berdasarkan Teori Van Hiele. *Jurnal Pendidikan Matematika Unpatti*, 6(1), 34–42. <https://doi.org/10.30598/jpmunpatti.v6.i1.p34-42>
- Rosida, F. A., & Nuvitalia, D. (2024). Analisis Model Pembelajaran Problem Based Learning Terhadap Kemampuan Berpikir Kritis Pada Pembelajaran IPAS Kelas IV SDN Gayamsari 02 Semarang. *INNOVATIVE: Journal Of Social Science Research*, 7954–7963.

- Roviati, E., & Widodo, A. (2019). Kontribusi Argumentasi Ilmiah dalam Pengembangan Keterampilan Berpikir Kritis. *Titian Ilmu: Jurnal Ilmiah Multi Sciences*, 11(2), 56-66. <https://doi.org/10.30599/jti.v11i2.454>
- Supriadi, P., Rhamadani, S. R., Haedi, S. U., & Chusni, M. M. (2022). Inovasi pembelajaran berbasis teknologi Artificial Intelligence dalam Pendidikan di era industry 4.0 dan society 5.0. *Jurnal Penelitian Sains Dan Pendidikan (JPSP)*, 2(2), 192-198. <https://doi.org/10.23971/jpsp.v2i2.4036>
- Suraya, S., Setiadi, A. E., & Muldayanti, N. D. (2019). Argumentasi Ilmiah Dan Keterampilan Berpikir Kritis Melalui Metode Debat. *Edusains*, 11(2), 233-241. <https://doi.org/10.15408/es.v11i2.10479>
- Sweller, J., Ayres, P., & Kalyuga, S. (2011). *Cognitive Load Theory*. Springer Publisher.
- Swisnandya, I. G. A. M., Mertayasa, I. N. E., & Wiradika, I. N. I. (2025). Pengembangan Media Pembelajaran Augmented Reality Informatika Pada Elemen Sistem Komputer Untuk Siswa Di SMP NEGERI 1 SERIRIT. *Kumpulan Artikel Mahasiswa Pendidikan Teknik Informatika (KARMAPATI)*, 14(1), 14-25. <https://doi.org/10.23887/karmapati.v14i1.92211>
- Taljaard, J. (2016). *Machine Translated by Google Tinjauan teknologi multi-sensorik dalam Sains , Teknologi , Teknik , Seni dan Matematika (STEAM) kelas Perkenalan. 2*, 46-55.
- Thiagarajan, S. (1974). *Instructional Development for Training Teachers of Exceptional Children: A Sourcebook*. <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:148925881>
- Yuniarti, A., Safarini, F., Rahmadia, I., Putri, S., & Biologi, P. (2023). Media Konvensional Dan Media Digital Dalam Pembelajaran. *Jurnal Education And Technology (JUTECH)*, 4(2), 2023.
- Zahara, S. L., Azkia, Z. U., & Chusni, M. M. (2023). Implementasi Teknologi Artificial Intelligence (AI) dalam Bidang Pendidikan. *Jurnal Penelitian Sains Dan Pendidikan (JPSP)*, 3(1), 15-20. <https://doi.org/10.23971/jpsp.v3i1.4022>