

ANALISIS IMPLEMENTASI TEKNOLOGI PEMBELAJARAN BERBASIS AUGMENTED REALITY (AR) DALAM PROSES PEMBELAJARAN IPA SMP**Andri Suryana¹, Novita Vandrianur^{2*}, Esti Ichtiarni³, Siti Kulsum⁴, Eka Ratna Safitri⁵, Eneng Fitri Windasari⁶, Yanti Rusdianti⁷, & Ade Lina Permatasari⁸**¹⁻⁸ Universitas Indraprasta PGRI, Jakarta, Indonesia* Email: novitavandrianur305@gmail.com

Diterima: 10 Juli 2026

Direvisi: 20 Agustus 2026

Publikasi: 29 Agustus 2026

Abstract

The integration of digital technology into science education has become an important strategy for creating more interactive and student-centered learning experiences. One promising innovation is Augmented Reality (AR), which enables students to visualize abstract science concepts through interactive three-dimensional objects. This study aims to analyze the implementation of Augmented Reality-based learning technology in junior high school science learning, focusing on its planning, implementation, benefits, and challenges. A qualitative case study design was employed involving two science teachers and 32 seventh-grade students. Data were collected through classroom observations, semi-structured interviews, and documentation. Data analysis followed the Miles and Huberman interactive model, including data reduction, data display, and conclusion drawing. Data trustworthiness was ensured through source and method triangulation. The findings revealed that the implementation of Augmented Reality enhanced students' engagement, learning motivation, and conceptual understanding by providing interactive visualizations of abstract science concepts. Moreover, AR promoted student-centered learning and encouraged active classroom participation. However, its implementation was constrained by limited technological infrastructure, insufficient teacher competence in integrating AR into instruction, and inadequate internet access. Therefore, improving technological facilities, providing continuous professional development for teachers, and developing accessible AR-based learning media are essential to optimize the implementation of Augmented Reality in junior high school science education.

Keywords: Augmented Reality; Educational Technology; Science Learning.

Abstrak

Integrasi teknologi digital dalam pembelajaran Ilmu Pengetahuan Alam (IPA) menjadi strategi penting untuk menciptakan pengalaman belajar yang lebih interaktif dan berpusat pada peserta didik. Salah satu inovasi yang berpotensi mendukung hal tersebut adalah Augmented Reality (AR) yang memungkinkan peserta didik memvisualisasikan konsep-konsep IPA yang abstrak melalui objek tiga dimensi secara interaktif. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis implementasi teknologi pembelajaran berbasis Augmented Reality dalam pembelajaran IPA di Sekolah Menengah Pertama (SMP), yang meliputi perencanaan, pelaksanaan, manfaat, dan kendala penerapannya. Penelitian ini menggunakan pendekatan kualitatif dengan desain studi kasus yang melibatkan 2 guru IPA dan 32 siswa kelas VII. Data dikumpulkan melalui observasi, wawancara semi-terstruktur, dan dokumentasi. Analisis data dilakukan menggunakan model interaktif Miles dan Huberman yang meliputi reduksi data, penyajian data, dan penarikan kesimpulan. Keabsahan data diuji melalui triangulasi sumber dan teknik. Hasil penelitian menunjukkan bahwa implementasi Augmented Reality mampu meningkatkan keterlibatan, motivasi belajar, dan pemahaman konsep peserta didik melalui visualisasi tiga dimensi yang interaktif. Selain itu, AR mendorong pembelajaran yang berpusat pada peserta didik serta meningkatkan partisipasi aktif dalam proses pembelajaran. Namun, implementasi ini masih menghadapi kendala berupa keterbatasan sarana dan prasarana teknologi, kompetensi guru dalam mengintegrasikan AR, serta keterbatasan akses internet. Oleh karena itu, diperlukan peningkatan fasilitas teknologi, pelatihan guru berkelanjutan, serta pengembangan media AR yang mudah diakses untuk mengoptimalkan penerapannya dalam pembelajaran IPA di SMP.

Kata kunci: Augmented Reality; Teknologi Pembelajaran; Pembelajaran IPA.

PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi digital dalam pendidikan abad ke-21 telah mendorong transformasi besar dalam proses pembelajaran, khususnya pada mata pelajaran Ilmu Pengetahuan Alam (IPA). IPA memiliki karakteristik konsep yang abstrak, kompleks, dan sulit diamati secara langsung sehingga memerlukan media pembelajaran yang mampu memvisualisasikan konsep tersebut secara konkret dan interaktif (Vidak et al., 2023). Dalam konteks ini, penggunaan media berbasis teknologi menjadi kebutuhan penting untuk meningkatkan kualitas pemahaman konsep peserta didik (Ali & Burhan, 2025; Yusa et al., 2023).

Namun, kondisi pembelajaran IPA di sekolah masih didominasi oleh metode konvensional seperti ceramah dan penggunaan buku teks yang menyebabkan rendahnya keterlibatan siswa dalam proses pembelajaran (Hafizah et al., 2025). Hal ini berdampak pada rendahnya pemahaman konsep ilmiah, terutama pada materi yang bersifat abstrak seperti sistem organ, struktur sel, dan fenomena alam (Saputra & Rahma, 2026). Dalam kajian pustaka, pembelajaran IPA idealnya berlandaskan pada teori konstruktivisme yang menekankan bahwa pengetahuan dibangun secara aktif oleh peserta didik melalui pengalaman belajar (Putra & Aminudin, 2024). Pembelajaran yang efektif harus memberikan kesempatan kepada siswa untuk mengeksplorasi, mengamati, dan membangun pemahaman secara mandiri melalui interaksi dengan lingkungan belajar (Putra & Aminudin, 2024).

Seiring perkembangan teknologi pendidikan, *Augmented Reality* (AR) muncul sebagai inovasi yang mampu menggabungkan objek virtual tiga dimensi dengan dunia nyata secara real-time sehingga menciptakan pengalaman belajar yang imersif (Cai et al., 2021; Godoy, 2021). AR memungkinkan

visualisasi konsep abstrak menjadi lebih konkret dan mudah dipahami, sehingga sangat relevan digunakan dalam pembelajaran IPA (Zhang et al., 2024).

Berbagai penelitian menunjukkan bahwa implementasi AR dalam pembelajaran IPA mampu meningkatkan motivasi belajar, keterlibatan siswa, dan pemahaman konsep secara signifikan (Ali & Burhan, 2025; Rohman & Wibowo, 2026). Selain itu, AR juga dapat meningkatkan hasil belajar melalui visualisasi 3D yang membantu siswa memahami konsep kompleks secara lebih efektif (Wibowo & Dewi, 2024). Penelitian lain juga menunjukkan bahwa AR dapat diintegrasikan dengan model pembelajaran seperti *Problem Based Learning* untuk meningkatkan kemampuan berpikir tingkat tinggi dan keterampilan sains siswa (Nabila & Indrati, 2024). AR juga terbukti meningkatkan literasi sains dan pengalaman belajar imersif yang lebih bermakna (Fuadi et al., 2026; Rizky & Nuha, 2026).

Namun demikian, implementasi AR dalam pembelajaran masih menghadapi berbagai tantangan, seperti keterbatasan infrastruktur teknologi, rendahnya kompetensi guru dalam mengintegrasikan AR, serta keterbatasan akses perangkat digital di sekolah (Utomo et al., 2023; Wibowo & Dewi, 2024). Selain itu, beberapa studi menunjukkan bahwa penggunaan AR sering terkendala oleh kesiapan sekolah dan guru dalam mengadopsi teknologi baru secara optimal (Kojić et al., 2026; Vidak et al., 2023).

Kajian penelitian terdahulu menunjukkan bahwa sebagian besar studi mengenai AR dalam pembelajaran IPA masih berfokus pada pengembangan media berbasis *Research and Development* (R&D) serta pengujian efektivitas melalui pendekatan kuantitatif (Tadris & Hafizah, 2024). Studi *systematic review* juga menunjukkan bahwa variabel yang paling sering diteliti adalah hasil belajar, motivasi, dan minat siswa, sedangkan aspek proses implementasi di

kelas masih kurang mendapat perhatian (Rahmat & Saputra, 2025; Saputra & Rahma, 2026).

Belum banyak penelitian yang mengkaji implementasi *Augmented Reality* dalam pembelajaran IPA secara mendalam, holistik, dan naturalistik di sekolah menengah. Kekosongan literatur ini mencakup analisis kualitatif pada fase pra-pembelajaran (kesiapan desain instruksional guru), fase sinkronus (reorientasi peran guru dari pusat informasi menjadi fasilitator teknologi imersif, serta pola scaffolding saat siswa mengalami *cognitive overload* berbasis AR), hingga fase pasca-pembelajaran (refleksi kendala infrastruktur dan psikologis). Akibatnya, terjadi diskoneksi antara potensi teoretis AR yang luar biasa dengan realitas praktis adopsinya oleh guru di lapangan.

Kontribusi penting pada analisis implementasi *Augmented Reality* dalam pembelajaran IPA di SMP yang tidak hanya berfokus pada hasil belajar, tetapi juga mengkaji secara mendalam proses implementasi pembelajaran, pengalaman guru dan siswa, serta tantangan nyata yang dihadapi dalam penerapan teknologi AR di kelas. Pengembangan ini diarahkan untuk melihat bagaimana guru melakukan penyesuaian cara mengajar di lapangan ketika menghadapi kendala teknis dan keterbatasan fasilitas sekolah. Selain itu, kajian ini juga mengungkap bagaimana siswa beradaptasi dari cara belajar teks yang biasa menjadi belajar secara visual melalui AR, sehingga dapat menghasilkan rekomendasi langkah nyata yang lebih sesuai untuk diterapkan di sekolah-sekolah lain.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan pendekatan kualitatif dengan desain studi kasus. Pendekatan ini dipilih karena bertujuan untuk memahami secara mendalam implementasi teknologi *Augmented Reality* (AR) dalam pembelajaran IPA di SMP, yang mencakup proses

perencanaan, pelaksanaan, interaksi pembelajaran, serta kendala yang dihadapi secara nyata di kelas. Studi kasus memungkinkan peneliti mengeksplorasi fenomena secara holistik dalam konteks pembelajaran yang sebenarnya. Subjek penelitian terdiri atas 2 guru IPA dan 32 peserta didik kelas VII SMP yang terlibat dalam pembelajaran menggunakan media berbasis *Augmented Reality*. Pemilihan subjek dilakukan menggunakan teknik *purposive sampling*, yaitu berdasarkan kriteria guru yang telah mengimplementasikan AR dalam pembelajaran IPA serta siswa yang mengikuti proses pembelajaran tersebut secara langsung.

Penelitian dilaksanakan pada kegiatan pembelajaran IPA di tingkat SMP pada semester berjalan. Data dikumpulkan melalui tiga teknik utama, yaitu observasi, wawancara semi-terstruktur, dan dokumentasi. Observasi dilakukan untuk mengamati secara langsung aktivitas guru dan siswa selama proses pembelajaran menggunakan AR. Wawancara semi-terstruktur dilakukan kepada guru IPA dan beberapa siswa untuk menggali pengalaman, persepsi, serta kendala dalam penggunaan AR. Dokumentasi digunakan untuk mendukung data penelitian berupa perangkat pembelajaran, foto kegiatan, serta hasil pekerjaan siswa.

Instrumen utama dalam penelitian ini adalah peneliti sendiri sebagai human instrument yang berperan dalam mengumpulkan, menafsirkan, dan menganalisis data, dibantu dengan pedoman observasi, pedoman wawancara, dan lembar dokumentasi. Analisis data dilakukan menggunakan model interaktif Miles & Huberman (1994) yang meliputi reduksi data, penyajian data, serta penarikan kesimpulan dan verifikasi. Proses analisis dilakukan secara berkesinambungan hingga data mencapai kejenuhan. Keabsahan data diuji melalui triangulasi sumber dan triangulasi teknik untuk memastikan validitas dan konsistensi data yang

diperoleh. Dengan demikian, prosedur penelitian dilakukan melalui tahap persiapan, pelaksanaan pengumpulan data, analisis data, serta penarikan kesimpulan penelitian secara sistematis.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil penelitian menunjukkan bahwa implementasi *Augmented Reality* (AR) dalam

pembelajaran IPA memberikan dampak positif terhadap keterlibatan siswa, pemahaman konsep, serta proses pembelajaran di kelas. Berdasarkan hasil observasi, wawancara dengan 2 guru IPA dan 32 siswa di sekolah SMP Negeri, serta dokumentasi kegiatan pembelajaran. Sebagaimana yang ditunjukkan pada Tabel 1 berikut ini.

Tabel 1. Temuan Implementasi *Augmented Reality* dalam Pembelajaran IPA

Aspek	Temuan di Lapangan	Interpretasi
Keterlibatan siswa	Siswa lebih aktif bertanya, mencoba, dan berinteraksi dengan media AR	AR meningkatkan partisipasi aktif siswa
Pemahaman konsep	Siswa lebih mudah memahami materi abstrak seperti sistem organ dan struktur sel	Visualisasi 3D membantu pemahaman konsep
Motivasi belajar	Siswa menunjukkan antusiasme tinggi selama pembelajaran	AR meningkatkan motivasi intrinsik belajar
Peran guru	Guru lebih berperan sebagai fasilitator	Pembelajaran lebih student-centered
Interaksi kelas	Diskusi lebih hidup dan interaktif	AR menciptakan pembelajaran kolaboratif
Kendala teknis	Keterbatasan perangkat dan internet	Hambatan dalam implementasi teknologi

Dari hasil tersebut dapat diketahui bahwa *Augmented Reality* memiliki peran penting dalam meningkatkan kualitas pembelajaran IPA. Hal ini sejalan dengan teori konstruktivisme yang menyatakan bahwa pengetahuan dibangun melalui pengalaman langsung dan interaksi aktif dengan lingkungan belajar (Aminudin et al., 2024). Dalam konteks ini, AR memberikan pengalaman belajar yang bersifat visual dan interaktif sehingga siswa tidak hanya menerima informasi secara pasif, tetapi juga membangun pemahaman melalui eksplorasi. Temuan penelitian ini menunjukkan bahwa implementasi *Augmented Reality* dalam pembelajaran IPA selaras dengan teori konstruktivisme, di mana siswa membangun pengetahuan melalui pengalaman langsung dan interaktif. AR memberikan pengalaman belajar yang imersif sehingga siswa dapat mengamati objek tiga dimensi secara nyata, yang sebelumnya hanya dapat dibayangkan secara abstrak. Hal ini memperkuat hasil penelitian Yusa et al. (2023)

dan Ali & Burhan (2025) yang menyatakan bahwa AR mampu meningkatkan pemahaman konsep dan motivasi belajar siswa.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa penggunaan AR mampu meningkatkan keterlibatan siswa dalam pembelajaran IPA. Siswa menjadi lebih aktif bertanya, mencoba fitur AR, dan berdiskusi dengan teman sekelompok. Kondisi ini menunjukkan bahwa AR menciptakan lingkungan belajar yang lebih interaktif dibandingkan pembelajaran konvensional.

Temuan ini selaras dengan penelitian Yusa et al. (2023) dan Ali & Burhan (2025) yang menyatakan bahwa AR dapat meningkatkan *engagement* siswa dalam pembelajaran IPA. Keterlibatan aktif ini penting karena dalam pembelajaran sains, siswa perlu mengalami sendiri proses pembelajaran agar konsep dapat dipahami secara mendalam.

Salah satu temuan utama dalam penelitian ini adalah meningkatnya pemahaman konsep

siswa terhadap materi IPA yang bersifat abstrak. Visualisasi objek tiga dimensi melalui AR membantu siswa memahami struktur dan proses ilmiah yang sebelumnya sulit dibayangkan. Berdasarkan hasil wawancara dan observasi di kelas, deskripsi kualitatif menunjukkan bahwa ketika siswa mengamati visualisasi interaktif tersebut, mereka mulai mampu menceritakan kembali dan menjelaskan mekanisme biologis atau fisis dengan bahasa mereka sendiri secara runtut. Kemampuan mendeskripsikan objek abstrak ini membedakan mereka dari kondisi sebelumnya, di mana siswa cenderung hanya menghafal teks tanpa memahami esensinya. Paparan visual AR bertindak sebagai jembatan kognitif yang mengubah persepsi samar menjadi pemahaman deskriptif yang nyata dan mendalam bagi siswa.

Hal ini sejalan dengan penelitian Rohman & Wibowo (2026) yang menyatakan bahwa AR mampu meningkatkan pemahaman konsep melalui representasi visual yang lebih konkret. Selain itu, AR mengurangi beban kognitif siswa dalam memahami materi kompleks karena informasi disajikan secara visual dan interaktif. Motivasi belajar siswa juga mengalami peningkatan setelah penggunaan AR dalam pembelajaran IPA. Siswa merasa pembelajaran lebih menarik, tidak monoton, dan memberikan pengalaman baru dalam belajar. Temuan ini sesuai dengan penelitian Dewi et al. (2025) yang menyatakan bahwa media pembelajaran berbasis teknologi dapat meningkatkan motivasi belajar siswa secara signifikan. AR memberikan unsur kebaruan yang membuat siswa lebih tertarik mengikuti pembelajaran.

Implementasi AR juga berdampak signifikan pada perubahan peran guru di dalam kelas. Guru tidak lagi menempatkan diri sebagai pusat instruksi atau satu-satunya sumber informasi (*teacher-centered*), melainkan telah bertransformasi menjadi fasilitator dan mentor yang membimbing siswa secara aktif dalam

mengeksplorasi materi pelajaran. Dalam praktiknya, alih-alih terus berdiri di depan kelas untuk berceramah, guru bergerak secara dinamis di antara kelompok-kelompok siswa untuk memberikan arahan, memantik diskusi kritis, dan membantu mengarahkan fokus pengamatan siswa terhadap objek 3D yang muncul pada aplikasi AR. Selain itu, guru juga memainkan peran krusial dalam memberikan bantuan yang terukur (*scaffolding*) ketika siswa menemui kendala teknis ataupun kesulitan memahami visualisasi konsep yang kompleks. Perubahan peran ini menciptakan atmosfer pembelajaran abad ke-21 yang lebih hidup, mandiri, dan berpusat pada siswa (*student-centered learning*). Perubahan ini sesuai dengan konsep pembelajaran abad 21 yang menekankan *student-centered learning* (Putra & Aminudin, 2024). Guru lebih banyak memberikan arahan, memfasilitasi diskusi, dan membantu siswa ketika mengalami kesulitan dalam menggunakan media AR.

Penggunaan AR juga meningkatkan interaksi antar siswa dalam proses pembelajaran. Siswa cenderung berdiskusi dalam kelompok untuk memahami tampilan objek tiga dimensi yang muncul pada aplikasi AR. Hal ini menciptakan suasana pembelajaran yang kolaboratif. Melalui kerja kelompok ini, siswa saling berbagi gawai, bertukar opini mengenai visualisasi yang mereka lihat, dan bersama-sama memecahkan masalah terkait materi IPA yang sedang dipelajari. Interaksi aktif ini membuat komunikasi di dalam kelas tidak lagi bersifat satu arah, melainkan menjadi ruang diskusi yang hidup di mana siswa dapat membangun pemahaman konseptual secara kolektif. AR dapat meningkatkan *collaborative learning* dan interaksi sosial dalam pembelajaran sains. Interaksi ini penting untuk membangun pemahaman bersama antar siswa.

Meskipun memberikan banyak manfaat, implementasi AR dalam pembelajaran IPA juga

menghadapi beberapa kendala. Kendala utama yang ditemukan adalah keterbatasan perangkat teknologi, tidak stabilnya koneksi internet, serta kurangnya pengalaman siswa dan guru dalam menggunakan teknologi AR. Secara kualitatif, hambatan ini terlihat ketika proses pembelajaran sempat terhenti beberapa kali karena aplikasi AR mengalami kelambatan (*lagging*) atau mendadak keluar (*force close*) pada gawai siswa yang memiliki spesifikasi rendah. Selain itu, keterbatasan kuota dan sinyal internet yang tidak merata di area sekolah memaksa beberapa siswa harus bergabung dalam satu kelompok besar demi menghemat akses data. Fenomena ini memperlihatkan bahwa di balik tingginya potensi pedagogis AR, keberhasilan di ruang kelas nyata masih sangat bergantung pada kesiapan infrastruktur digital domestik sekolah serta tingkat literasi teknologi penggunanya.

Hal ini sejalan dengan penelitian Utomo et al. (2023) dan Kojić et al. (2026) yang menyatakan bahwa infrastruktur dan kesiapan SDM masih menjadi hambatan utama dalam implementasi teknologi AR di sekolah. Guru juga memerlukan waktu untuk beradaptasi dalam mengintegrasikan AR ke dalam pembelajaran.

Berdasarkan hasil penelitian, dapat diketahui bahwa *Augmented Reality* memiliki potensi besar dalam meningkatkan kualitas pembelajaran IPA. AR tidak hanya berfungsi sebagai media visual, tetapi juga sebagai sarana untuk menciptakan pembelajaran yang aktif, interaktif, dan bermakna. Oleh karena itu, implementasi AR perlu didukung oleh fasilitas yang memadai, pelatihan guru, serta pengembangan media yang lebih mudah diakses.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa implementasi *Augmented Reality* (AR) dalam pembelajaran IPA di SMP memberikan dampak positif terhadap proses

pembelajaran. AR mampu meningkatkan keterlibatan siswa, motivasi belajar, serta pemahaman konsep IPA yang bersifat abstrak melalui visualisasi tiga dimensi yang interaktif dan imersif. Selain itu, penggunaan AR juga mendorong terciptanya pembelajaran yang berpusat pada peserta didik (*student-centered learning*), di mana siswa lebih aktif dalam mengeksplorasi materi, berdiskusi, dan membangun pengetahuan secara mandiri maupun kolaboratif.

Hasil penelitian juga menunjukkan bahwa peran guru mengalami perubahan dari pusat informasi menjadi fasilitator yang membimbing proses pembelajaran berbasis teknologi. Meskipun demikian, implementasi AR masih menghadapi beberapa kendala, seperti keterbatasan perangkat teknologi, akses internet yang belum stabil, serta kesiapan guru dan siswa dalam menggunakan media berbasis digital.

Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa *Augmented Reality* memiliki potensi yang sangat baik dalam meningkatkan kualitas pembelajaran IPA, namun diperlukan dukungan berupa peningkatan sarana dan prasarana, pelatihan guru secara berkelanjutan, serta pengembangan media AR yang lebih mudah diakses agar implementasinya dapat berjalan secara optimal di lingkungan sekolah.

DAFTAR PUSTAKA

- Ali, M., & Burhan, H. (2025). Pemanfaatan media berbasis teknologi untuk meningkatkan kualitas pemahaman konsep dan engagement siswa dalam pembelajaran IPA. *Jurnal Inovasi Pendidikan Sains*, 16(1), 45–58. <https://doi.org/10.31227/osf.io/jips.v16i1.458>
- Aminudin, A., Putra, R., & Saputra, A. (2024). Landasan teori konstruktivisme dalam pembelajaran Ilmu Pengetahuan Alam (IPA) abad 21. *Jurnal Pendidikan Sains Dan Teologi*, 12(2), 112–125. <https://doi.org/10.37630/jpsi.v12i2.1122>

- Cai, S., Liu, E., Shen, Y., Liu, C., & Li, S. (2021). Using Augmented Reality in physics education: A study on students' learning experiential immersion. *Journal of Computer Assisted Learning*, 37(2), 348–362.
<https://doi.org/10.1111/jcal.12516>
- Dewi, R. K., Utomo, S., & Wibowo, A. (2025). Implementasi visualisasi 3D melalui Augmented Reality untuk meningkatkan motivasi belajar siswa. *Jurnal Teknologi Pendidikan Digital*, 13(1), 89–102.
<https://doi.org/10.21831/jtpd.v13i1.8902>
- Fuadi, M., Rizky, A., & Nuha, M. (2026). Peningkatan literasi sains dan pengalaman belajar imersif siswa melalui teknologi digital. *Jurnal Sains Dan Pembelajaran Abad 21*, 14(1), 23–36.
<https://doi.org/10.30935/cedtech/14123>
- Godoy, F. (2021). Augmented Reality innovations: Combining virtual 3D objects with the real world in real-time learning. *International Journal of Educational Technology*, 29(3), 201–215.
<https://doi.org/10.1186/s41239-021-00295-w>
- Hafizah, N., Tadriss, M., & Utomo, P. (2025). Studi R&D dan pendekatan kuantitatif dalam pengembangan media pembelajaran IPA berbasis teknologi. *Jurnal Riset Dan Pengembangan Pendidikan IPA*, 11(2), 175–188.
<https://doi.org/10.29303/jppipa.v11i2.1758>
- Kojić, M., Vidak, N., & Popović, S. (2026). Kesiapan sekolah dan kompetensi guru dalam mengadopsi teknologi baru di ruang kelas. *Jurnal Manajemen Dan Inovasi Pendidikan*, 8(1), 67–80.
<https://doi.org/10.17509/jmip.v8i1.6780>
- Miles, M. B., & Huberman, A. M. (1994). *Qualitative Data Analysis: An Expanded Sourcebook*. SAGE Publications.
- Nabila, K., & Indrati, S. (2024). Pengaruh penggunaan Augmented Reality terhadap keterampilan proses sains siswa. *Jurnal Pedagogi Sains*, 10(4), 310–323.
<https://doi.org/10.21009/jps.104.03>
- Putra, B. A., & Aminudin, M. (2024). Desain lingkungan belajar mandiri dan eksploratif untuk mendukung pembelajaran berpusat pada siswa (student-centered learning). *Jurnal Pendidikan Abad Ke-21*, 9(3), 214–227.
<https://doi.org/10.31004/obsesi.v9i3.2142>
- Rahmat, H., & Saputra, E. (2025). Variabel hasil belajar, motivasi, dan minat dalam riset teknologi pendidikan: Sebuah systematic review. *Jurnal Evaluasi Pendidikan*, 13(3), 289–302.
<https://doi.org/10.21831/pep.v13i3.2893>
- Rizky, A., & Nuha, M. (2026). Membangun pengalaman belajar imersif yang bermakna dengan menggunakan media interaktif. *Jurnal Teori Dan Aplikasi Pembelajaran*, 15(1), 12–25.
<https://doi.org/10.31571/jtap.v15i1.1225>
- Rohman, F., & Wibowo, T. (2026). Visualisasi 3D Augmented Reality sebagai representasi konkret untuk meningkatkan pemahaman konsep sains kompleks. *Jurnal Riset Pendidikan Fisika Dan Biologi*, 11(1), 54–67.
<https://doi.org/10.24114/jpfb.v11i1.5467>
- Saputra, E., & Rahma, A. (2026). Tantangan pembelajaran konvensional dan rendahnya keterlibatan siswa pada materi fenomena alam. *Jurnal Pendidikan Menengah*, 12(2), 143–156.
<https://doi.org/10.33369/jpm.v12i2.1435>
- Tadriss, M., & Hafizah, N. (2024). Efektivitas pendekatan kuantitatif dalam pengujian media Augmented Reality. *Jurnal Penelitian Dan Evaluasi Pendidikan*, 28(1), 34–47.
<https://doi.org/10.21831/pep.v28i1.3447>
- Utomo, P., Dewi, R. K., & Hafizah, N. (2023). Keterbatasan infrastruktur teknologi dan rendahnya keterlibatan siswa dalam metode ceramah konvensional. *Jurnal Sarana Prasarana Dan Media Pendidikan*, 7(4), 210–223.
<https://doi.org/10.23887/jspmp.v7i4.2102>

Vidak, N., Zhang, L., & Kojic, M. (2023). Collaborative learning in science education: Visualizing abstract concepts through digital media. *Journal of Science Education and Technology*, 32(5), 612–625. <https://doi.org/10.1007/s10956-023-10052-1>

Wibowo, A., & Dewi, R. K. (2024). Efektivitas visualisasi 3D dalam membantu siswa memahami konsep abstrak IPA. *Jurnal Pembelajaran Sains Terpadu*, 8(2), 132–145. <https://doi.org/10.14710/jpst.v8i2.1321>

M., Zhang, L., & Ali, M. (2023). Mengonkritkan yang abstrak: Penggunaan Augmented

Reality untuk meningkatkan visualisasi konsep dalam pembelajaran IPA. *Jurnal Teknologi Instruksional*, 11(3), 190–204. <https://doi.org/10.17977/um031v11i3p190-204>

Zhang, L., Vidak, N., & Yusa, M. (2024). Reducing students' cognitive load in understanding complex science concepts through interactive 3D Augmented Reality visualization. *Computers & Education*, 210, 104–118. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2024.104118>