

Pengembangan Augmented Reality Berbasis Discovery Learning untuk Berpikir Kritis dan Nilai Afektif Murid

Adis Sherly^{1*}, Saleh Hidayat², Bagas Rasid Sidik³

^{1*,2,3}Pendidikan Biologi, Program Pascasarjana, Universitas Muhammadiyah Palembang, Palembang, Indonesia

Article Info

Article history:

Received Jun 20, 2026

Accepted Jul 28, 2026

Published Online Aug 31, 2026

Keywords:

Augmented Reality

Discovery Learning

Media Pembelajaran

Berpikir Kritis

Klasifikasi Hewan

ABSTRACT

Visualisasi objek biologi yang sulit dihadirkan secara langsung membatasi kegiatan pengamatan dan penalaran murid. Penelitian ini bertujuan mengembangkan media Augmented Reality (AR) berbasis Discovery Learning pada materi klasifikasi hewan serta menguji validitas, kepraktisan, dan efektivitasnya terhadap kemampuan berpikir kritis dan nilai afektif. Penelitian dan pengembangan menggunakan model 4D yang mencakup define, design, develop, dan disseminate. Produk berupa modul ajar, lembar kerja murid, objek tiga dimensi, dan kartu akses QR. Validasi melibatkan ahli bahasa, media, perangkat, materi, dan evaluasi. Uji efektivitas menggunakan desain kuasi-eksperimen pretest-posttest dengan kelas kontrol sebanyak 25 murid dan kelas eksperimen sebanyak 23 murid. Data dianalisis menggunakan persentase deskriptif, Shapiro-Wilk, Levene, Mann-Whitney, dan N-Gain. Rata-rata validasi produk mencapai 90,48%, kepraktisan guru 92,86%, keterbacaan 71,74%, keterlaksanaan dua pertemuan 100%, dan respons positif murid 97,82%. Skor berpikir kritis kelas eksperimen meningkat dari 48,41 menjadi 81,86 dengan N-Gain 0,63, sedangkan kelas kontrol meningkat dari 57,33 menjadi 62,40 dengan N-Gain 0,18. Perbedaan pascaintervensi signifikan dan berefek besar ($U = 54,00$; $Z = -4,886$; $p < 0,001$; $r = 0,71$). Perbedaan nilai afektif juga signifikan dan berefek besar ($U = 39,00$; $Z = -5,194$; $p < 0,001$; $r = 0,75$), terutama pada receiving, responding, dan valuing. Temuan menunjukkan bahwa integrasi visualisasi AR dengan tahapan penemuan terbimbing layak digunakan untuk mendukung pengamatan, analisis, dan keterlibatan murid, meskipun internalisasi nilai tingkat lanjut memerlukan pembiasaan yang lebih panjang.

This is an open access under the [CC-BY-SA](#) licence



Corresponding Author:

Adis Sherly

Jurusan Pendidikan Biologi,

Program Pascasarjana,

Universitas Muhammadiyah Palembang, Palembang, Indonesia,

Jl. Mayor Zen, Kec. Kalidoni, Kota Palembang, Sumatera Selatan, Indonesia, 30119

Email: adis.sherly@gmail.com

How to cite: Sherly, A., Hidayat, S., & Sidik, B. R. (2026). Pengembangan Augmented Reality Berbasis Discovery Learning untuk Berpikir Kritis dan Nilai Afektif Murid. *Jurnal Riset Dan Inovasi Pembelajaran*, 6(2), 1259–1269. <https://doi.org/10.51574/jrip.v6i2.5731>

Pengembangan Augmented Reality Berbasis Discovery Learning untuk Berpikir Kritis dan Nilai Afektif Murid

1. Pendahuluan

Kemampuan berpikir kritis merupakan tujuan penting pembelajaran sains karena murid perlu menghubungkan bukti, penjelasan, dan keputusan ketika mempelajari fenomena alam. Kemampuan tersebut mencakup kegiatan mengamati, membandingkan, mengelompokkan, menilai informasi, dan menyusun kesimpulan yang dapat dipertanggungjawabkan. Penelitian AR dalam pembelajaran sains menunjukkan bahwa representasi interaktif dapat mendukung retensi, argumentasi, dan berpikir kritis ketika dihubungkan dengan tugas analitis yang jelas (Alkhabra et al., 2023; Demircioglu et al., 2023; Faridi et al., 2021; Haryadi et al., 2026). Tuntutan ini penting pada materi klasifikasi hewan karena murid harus membedakan ciri morfologi, memahami hubungan antarkelompok, serta menerapkan istilah ilmiah pada objek yang tidak selalu dijumpai di lingkungan sehari-hari.

Analisis awal di SMP Pusri Palembang menunjukkan bahwa pembelajaran IPA masih didominasi bahan ajar konvensional. Modul cetak digunakan lebih banyak (66,67%) dibandingkan modul elektronik (33,33%), sementara 38,24% murid menempatkan klasifikasi hewan sebagai materi paling sulit. Kesulitan utama berkaitan dengan banyaknya hafalan (55,56%) dan keterbatasan objek hewan yang dapat diamati secara langsung. Pada saat yang sama, telepon pintar menjadi media yang paling sering diakses murid (42,86%). Kondisi ini memperlihatkan kesenjangan antara tersedianya perangkat digital dan belum optimalnya pemanfaatan perangkat tersebut untuk menghadirkan pengalaman pengamatan yang konkret.

Augmented Reality dapat menempatkan objek tiga dimensi pada lingkungan belajar nyata sehingga ciri hewan dapat diamati dari berbagai sudut. Tinjauan sistematis dan meta-analisis menunjukkan bahwa AR berpotensi meningkatkan pemahaman konseptual dan hasil belajar pada pendidikan sains dan STEM, walaupun besar pengaruhnya bervariasi menurut konteks dan rancangan intervensi (Chang et al., 2022; Faria & Miranda, 2024; Ibáñez & Delgado-Kloos, 2018; Wang et al., 2024; Xu et al., 2022; Zhang et al., 2024; Zhang & Wang, 2021). Kajian pada pendidikan biologi juga menekankan manfaat visualisasi struktur dan proses yang sulit diamati secara langsung (Stanić & Špernjak, 2025). Namun, AR tidak bekerja secara otomatis; manfaatnya dipengaruhi kualitas panduan, kesesuaian representasi, dan beban teknis yang dialami pengguna (Alzahrani, 2020).

Discovery Learning menyediakan alur stimulasi, perumusan masalah, pengumpulan dan pengolahan data, verifikasi, serta generalisasi. Integrasi AR dengan penemuan dan inkuiri terbimbing telah digunakan untuk mengubah visualisasi menjadi bukti yang diamati, dibandingkan, dan ditafsirkan murid (Kyza & Georgiou, 2019; Majid & Majid, 2018; Sofianidis et al., 2024; Wen et al., 2023). Mekanisme reflektif dan perhatian terhadap keyakinan epistemik juga membantu murid bergerak dari aktivitas memindai objek menuju penyelidikan dan penalaran tingkat tinggi (Lin et al., 2023; Wen et al., 2024). Meskipun penelitian AR berkembang pesat, masih diperlukan bukti pengembangan yang secara bersamaan melaporkan kualitas produk, kemampuan berpikir kritis, dan perkembangan nilai afektif pada materi klasifikasi hewan di tingkat SMP.

Penelitian ini bertujuan menghasilkan media AR berbasis Discovery Learning yang valid dan praktis serta menguji perbedaan kemampuan berpikir kritis dan nilai afektif antara kelas yang menggunakan media dengan kelas pembelajaran konvensional. Kebaruan penelitian terletak pada integrasi kartu objek AR, modul ajar, dan LKPD sesuai sintaks Discovery Learning serta evaluasi berlapis yang menghubungkan mutu produk, keterlaksanaan, respons pengguna, capaian kognitif, dan profil afektif. Integrasi teknologi perlu dinilai sebagai kesatuan antara keterampilan teknis dan keputusan pedagogis guru, bukan sebagai atribut perangkat semata (Kaharuddin et al., 2025).

2. Metode Penelitian

Penelitian menggunakan pendekatan penelitian dan pengembangan dengan model 4D: define, design, develop, dan disseminate. Tahap define meliputi analisis awal, karakteristik murid, konsep, tugas, dan tujuan pembelajaran. Tahap design menghasilkan rancangan modul ajar, LKPD, kartu objek AR yang diakses melalui kode QR, instrumen berpikir kritis, serta lembar observasi afektif. Tahap develop mencakup validasi ahli, revisi, uji keterbacaan, dan uji kepraktisan. Tahap disseminate meliputi implementasi pada kelas kontrol dan eksperimen serta distribusi produk kepada guru IPA. Alur penelitian disajikan pada Gambar 1.



Gambar 1. Alur pengembangan dan pengujian media AR berbasis Discovery Learning

Penelitian dilaksanakan pada murid kelas VII SMP Pusri Palembang dengan purposive sampling. Uji efektivitas menggunakan desain kuasi-eksperimen pretest-posttest kelompok kontrol. Kelas VII Bilingual 1 menjadi kelompok kontrol ($n = 25$) dan kelas VII Bilingual 2 menjadi kelompok eksperimen ($n = 23$). Kelas VII Bilingual 3 digunakan di luar kedua kelompok untuk uji awal instrumen dan keterbacaan. Kelompok eksperimen belajar menggunakan modul, LKPD, dan objek AR dalam sintaks Discovery Learning, sedangkan kelompok kontrol menggunakan bahan ajar yang biasa diterapkan guru.

Data dihimpun melalui wawancara dan angket kebutuhan, lembar validasi ahli, angket kepraktisan guru, uji keterbacaan, tes kemampuan berpikir kritis, lembar observasi afektif, lembar keterlaksanaan, dan angket respons murid. Lima kelompok ahli menilai aspek bahasa, media, perangkat pembelajaran, materi, dan evaluasi. Uji awal instrumen tes dilakukan terhadap 10 murid; butir yang tidak memenuhi kriteria dikeluarkan sebelum implementasi. Reliabilitas awal sepuluh butir memperoleh Cronbach's alpha sebesar 0,604 dan perlu dipahami sebagai bukti awal pada sampel terbatas.

Validitas, kepraktisan, keterbacaan, keterlaksanaan, dan respons dianalisis menggunakan persentase deskriptif. Skor pretest dan posttest diperiksa dengan Shapiro-Wilk dan homogenitas varians dengan Levene. Karena sebagian distribusi tidak normal, perbedaan dua kelompok dianalisis menggunakan Mann-Whitney U pada taraf 0,05 melalui SPSS 22. Nilai p keluaran 0,000 dilaporkan sebagai $p < 0,001$. Besar efek dihitung dengan $r = |Z|/\sqrt{N}$, dengan N sebagai jumlah peserta kedua kelompok. Peningkatan deskriptif dihitung menggunakan N-Gain; nilai kurang dari 0,30 dikategorikan rendah, 0,30-0,69 sedang, dan sekurang-kurangnya 0,70 tinggi.

3. Hasil dan Pembahasan

Hasil Analisis Kebutuhan dan Produk Akhir

Tahap define mengonfirmasi kebutuhan terhadap media yang memungkinkan murid mengamati objek hewan secara konkret dan melakukan pengelompokan berdasarkan ciri. Temuan kebutuhan tidak hanya menunjukkan rendahnya penggunaan modul elektronik, tetapi juga memperlihatkan adanya kesiapan perangkat: telepon pintar telah menjadi media yang paling sering digunakan murid. Berdasarkan temuan tersebut, produk dirancang sebagai ekosistem belajar yang terdiri atas modul ajar, LKPD, kartu hewan dengan kode QR, objek tiga dimensi, dan aktivitas sesuai tahapan Discovery Learning.

Produk akhir menempatkan kode QR dan objek AR di dalam tugas pengamatan. Murid tidak berhenti pada pemindaian objek, tetapi diminta menyusun pertanyaan, mencatat karakteristik, membandingkan objek, mengelompokkan hewan, memverifikasi hasil, dan menarik kesimpulan. Contoh komponen produk ditampilkan pada Gambar 2. Struktur ini konsisten dengan penggunaan AR untuk eksperimen unsur kimia, rangkaian listrik, dan objek

biologi, yaitu representasi digital dijadikan sumber pengamatan dalam tugas konseptual (Baran et al., 2020; Chen & Liu, 2020; Chuang et al., 2023; Yang et al., 2018).



Gambar 2. Komponen media AR, kartu objek, dan LKPD berbasis Discovery Learning Validitas, Kepraktisan, dan Keterlaksanaan

Penilaian lima kelompok ahli menghasilkan rata-rata validitas 90,48%. Aspek bahasa memperoleh nilai tertinggi, sedangkan evaluasi memperoleh nilai terendah meskipun masih berada pada kategori baik. Perbedaan ini penting karena kualitas tampilan dan materi yang tinggi tidak otomatis menjamin kekuatan instrumen pengukuran. Saran ahli digunakan untuk memperjelas tujuan pembelajaran, memperbaiki konsistensi bahasa, menyesuaikan objek AR dengan materi, dan merapikan rubrik penilaian. Ringkasan mutu produk dan implementasi disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Ringkasan validitas, kepraktisan, dan implementasi produk

Indikator	Capaian (%)	Interpretasi
Validasi bahasa	100,00	Sangat baik
Validasi media	85,26	Sangat baik
Validasi perangkat	96,00	Sangat baik
Validasi materi	94,12	Sangat baik
Validasi evaluasi	77,00	Baik
Rata-rata validasi	90,48	Sangat baik
Kepraktisan guru	92,86	Sangat praktis
Keterbacaan murid	71,74	Kuat
Keterlaksanaan (2 pertemuan)	100,00	Sangat terlaksana
Respons positif murid	97,82	Sangat kuat

Kepraktisan guru sebesar 92,86% menunjukkan bahwa media dapat digunakan dalam alur pembelajaran yang dirancang. Keterbacaan sebesar 71,74% berada pada kategori kuat, tetapi lebih rendah daripada penilaian kepraktisan. Pola tersebut menunjukkan bahwa kemudahan penggunaan oleh guru belum sepenuhnya identik dengan kemudahan memahami seluruh teks dan instruksi oleh murid. Karena itu, instruksi perlu singkat, bahasa perlu sesuai dengan murid, dan visual harus tetap terhubung dengan tujuan konseptual. Pandangan guru dan

murid pada penelitian AR sains juga menempatkan kesesuaian pedagogis, kemudahan penggunaan, dan dukungan terhadap pengamatan sebagai syarat utama implementasi (Arici et al., 2021; Schmidthaler et al., 2023). Temuan ini mendukung gagasan bahwa kompetensi integrasi teknologi guru berkembang melalui familiarisasi teknis, eksperimen pedagogis, dan penggunaan yang semakin lancar (Kaharuddin et al., 2025).

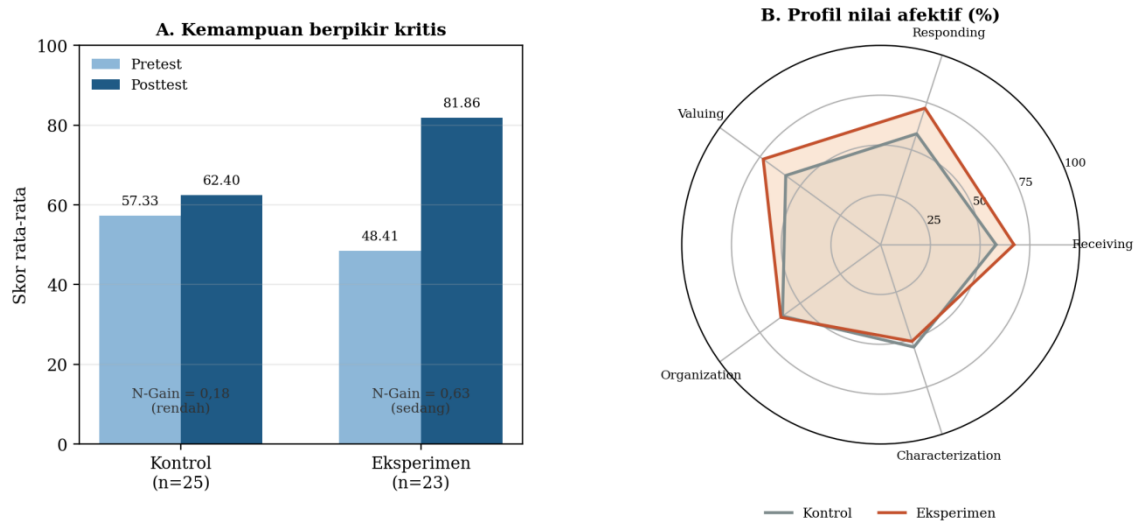
Keterlaksanaan mencapai 100% pada dua pertemuan dan respons positif murid mencapai 97,82%. Capaian tersebut mendukung kelayakan implementasi, tetapi tidak digunakan sebagai satu-satunya dasar klaim efektivitas. Respons yang sangat positif dapat mencerminkan daya tarik kebaruan teknologi, sedangkan efektivitas akademik harus dibaca bersama perubahan skor dan perbandingan dengan kelompok kontrol. Keterlibatan pengguna juga tidak boleh diasumsikan hanya karena teknologi bersifat adaptif atau imersif; desain perlu diuji dari pengalaman nyata murid dan hambatan representasional yang mereka temui (Andić et al., 2026; Kaharuddin et al., 2026).

Kemampuan Berpikir Kritis dan Nilai Afektif

Skor berpikir kritis kelas kontrol meningkat dari 57,33 menjadi 62,40 dengan N-Gain 0,18 (rendah). Kelas eksperimen meningkat dari 48,41 menjadi 81,86 dengan N-Gain 0,63 (sedang). Data posttest kelas eksperimen tidak berdistribusi normal berdasarkan nilai pada tabel hasil penelitian (Shapiro-Wilk $p = 0,029$), sedangkan uji Levene menunjukkan varians antarkelompok homogen ($p = 0,218$). Uji Mann-Whitney pada posttest menghasilkan $U = 54,00$; $Z = -4,886$; $p < 0,001$. Besar efek $r = 0,71$ menunjukkan perbedaan yang besar antara kedua kelompok.

Perbedaan kemampuan awal perlu diperhatikan karena rata-rata pretest kelas kontrol lebih tinggi daripada kelas eksperimen. Oleh sebab itu, hasil tidak hanya ditafsirkan dari perbedaan posttest, tetapi juga dari pola perubahan dan N-Gain. Kombinasi skor akhir, besar efek, dan N-Gain yang lebih tinggi pada kelompok eksperimen konsisten dengan penelitian AR pada sains sekolah menengah, fisika, dan biologi yang melaporkan peningkatan capaian, keterampilan inkuiri, dan berpikir tingkat tinggi (Faria & Lobato Miranda, 2024; Liao et al., 2025; Rahmayani et al., 2024; Sahin & Yilmaz, 2020). Meskipun demikian, desain purposive tanpa randomisasi tetap membatasi kekuatan inferensi kausal.

Pada nilai afektif, Mann-Whitney menghasilkan $U = 39,00$; $Z = -5,194$; $p < 0,001$ dengan besar efek $r = 0,75$. Profil deskriptif menunjukkan keunggulan kelas eksperimen pada receiving (67% berbanding 58%), responding (72% berbanding 58,50%), dan valuing (73% berbanding 59%). Perbedaan pada organization relatif kecil (62% berbanding 61%), sedangkan characterization kelas eksperimen justru lebih rendah (51% berbanding 54%). Gambar 3 memperlihatkan bahwa pengaruh media lebih kuat pada perhatian, partisipasi, dan penghargaan terhadap pembelajaran daripada pada internalisasi nilai menjadi karakter yang stabil. Pola tersebut sejalan dengan bukti bahwa AR dapat memperkuat motivasi, minat situasional, dan efikasi diri pada tahap awal interaksi belajar (Aldeeb et al., 2024; Amores-Valencia et al., 2022; Önal & Önal, 2021; Sun et al., 2023).



Gambar 3. Perubahan kemampuan berpikir kritis dan profil nilai afektif kedua kelas

Tabel 2. Hasil Mann-Whitney dan besar efek

Luaran	U (Z)	p	r (interpretasi)
Berpikir kritis	54,00 (-4,886)	< 0,001	0,71 (besar)
Nilai afektif	39,00 (-5,194)	< 0,001	0,75 (besar)

Pola kognitif dapat dijelaskan melalui fungsi komplementer teknologi dan pedagogi. AR memperkaya bukti visual dengan menghadirkan ciri hewan dalam bentuk tiga dimensi, sedangkan Discovery Learning mengarahkan murid untuk mengubah pengamatan menjadi perbandingan dan generalisasi. Penggunaan panduan bertahap, aktivitas reflektif, dan tugas argumentasi terbukti penting agar interaksi dengan objek AR berkembang menjadi inkuiri dan berpikir kritis (Cai et al., 2022; Chang & Hwang, 2018; Demircioglu et al., 2023; Lin et al., 2023). Temuan pada pembelajaran biologi kolaboratif juga menunjukkan bahwa interaksi tubuh, objek, dan diskusi kelompok dapat memperkuat penyelidikan bersama (Cai et al., 2026).

Pola afektif memperlihatkan batas intervensi jangka pendek. Visualisasi yang menarik dan aktivitas kelompok dapat segera meningkatkan perhatian dan respons. Bukti pada pembelajaran sains menunjukkan bahwa AR dapat memperbaiki motivasi dan minat, tetapi perubahan tersebut bergantung pada kualitas kegiatan inkuiri dan keterhubungan visual dengan materi (Arıcı & Yilmaz, 2025; Liao et al., 2025; Papanastasiou et al., 2019). Karena organization dan characterization menuntut konsistensi nilai dan perilaku, implementasi dua pertemuan belum cukup untuk menyimpulkan pembentukan karakter. Kontribusi yang lebih dapat dipertanggungjawabkan adalah terciptanya kondisi awal yang mendukung keterlibatan dan penghargaan terhadap aktivitas belajar.

Materi klasifikasi hewan juga memperoleh dukungan dari kajian AR dalam biologi dan lingkungan yang menekankan hubungan antara visualisasi spesies, konteks alam, dan praktik ilmiah (Ladykova et al., 2024; Stanić & Špernjak, 2025). Pengembangan bahan AR oleh calon guru biologi bahkan dipandang perlu untuk memperkuat, bukan menggantikan, praktik sains dan hubungan dengan lingkungan nyata (Andić et al., 2026). Oleh karena itu, pemindaian objek sebaiknya tetap dilengkapi pengamatan lapangan, diskusi, dan verifikasi terhadap sumber ilmiah.

Penelitian memiliki beberapa keterbatasan. Pemilihan kelas secara purposive menyebabkan ketidakseimbangan skor awal dan membatasi generalisasi. Uji awal instrumen melibatkan sampel kecil serta reliabilitas 0,604 sehingga penguatan instrumen masih

diperlukan. Efek kebaruan AR dan pengaruh guru belum dapat dipisahkan. Selain itu, pengukuran afektif hanya berlangsung dua pertemuan. Temuan meta-analitik menunjukkan bahwa karakteristik sampel, durasi, bidang studi, perangkat, dan rancangan pedagogis dapat memoderasi efektivitas AR (Chang et al., 2022; Xu et al., 2022). Penelitian berikutnya perlu menggunakan sampel lebih besar, menguji perbedaan gain secara inferensial atau menggunakan ANCOVA apabila asumsi terpenuhi, melaporkan interval kepercayaan, serta melakukan observasi longitudinal.

4. Kesimpulan dan Saran

Media AR berbasis Discovery Learning pada materi klasifikasi hewan memenuhi kriteria valid, praktis, dan dapat dilaksanakan. Integrasi objek tiga dimensi, kode QR, modul, dan LKPD menghasilkan pengalaman belajar yang mengarahkan murid dari pengamatan menuju analisis dan kesimpulan. Kelas eksperimen menunjukkan peningkatan berpikir kritis yang lebih tinggi daripada kelas kontrol, dengan perbedaan posttest dan besar efek yang kuat. Nilai afektif juga berbeda secara signifikan, terutama pada receiving, responding, dan valuing. Namun, organization dan characterization belum menunjukkan keunggulan yang konsisten sehingga pembentukan nilai tingkat lanjut tidak boleh diklaim hanya dari implementasi singkat. Guru disarankan menggunakan AR sebagai bagian dari tugas penemuan yang terarah dan tetap menyediakan panduan eksplisit. Penelitian berikutnya perlu memperkuat instrumen, menyeimbangkan kelompok awal, memperpanjang implementasi, serta menguji keberlanjutan capaian kognitif dan afektif.

5. Konflik Kepentingan

Para penulis menyatakan tidak ada konflik kepentingan.

6. Kontribusi Penulis

A.S merancang penelitian, mengembangkan produk, mengumpulkan data, dan menyusun draf awal. [S.H] berkontribusi pada metodologi, validasi, dan analisis data. B.R.S berkontribusi pada kajian pustaka, interpretasi temuan, dan penyuntingan naskah. Semua penulis membaca dan menyetujui versi akhir artikel.

DAFTAR PUSTAKA

- Aldeeb, F. H., Sallabi, O. M., Elaish, M. M., & Hwang, G.-J. (2024). Enhancing students' learning achievements, self-efficacy, and motivation using mobile augmented reality. *Journal of Computer Assisted Learning*, 40(4), 1823-1837. <https://doi.org/10.1111/jcal.12989>
- Alkhabra, Y. A., Ibrahim, U. M., & Alkhabra, S. A. (2023). Augmented reality technology in enhancing learning retention and critical thinking according to STEAM program. *Humanities and Social Sciences Communications*, 10(1), Article 174. <https://doi.org/10.1057/s41599-023-01650-w>
- Alzahrani, N. M. (2020). Augmented reality: A systematic review of its benefits and challenges in e-learning contexts. *Applied Sciences*, 10(16), Article 5660. <https://doi.org/10.3390/app10165660>
- Amores-Valencia, A., Burgos, D., & Branch-Bedoya, J. W. (2022). Influence of motivation and academic performance in the use of Augmented Reality in education. A systematic review. *Frontiers in Psychology*, 13, Article 1011409. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2022.1011409>
- Andić, B., Weinhandl, R., Maričić, M., & Dünser, B. (2026). Pre-service biology teachers as developers of mobile augmented reality teaching materials: Enhancing, not replacing,

- science practices and connections with the natural environment. *Thinking Skills and Creativity*, 59, Article 102019. <https://doi.org/10.1016/j.tsc.2025.102019>
- Arici, F., & Yilmaz, R. M. (2025). Effects of Augmented Reality and Video-Based Learning in Inquiry-Based Science Education on Academic Achievement and Motivation to Learn Science. *Journal of Computer Assisted Learning*, 41(5), Article e70128. <https://doi.org/10.1111/jcal.70128>
- Arici, F., Yilmaz, R. M., & Yilmaz, M. (2021). Affordances of augmented reality technology for science education: Views of secondary school students and science teachers. *Human Behavior and Emerging Technologies*, 3(5), 1153-1171. <https://doi.org/10.1002/hbe2.310>
- Baran, B., Yecan, E., Kaptan, B., & Paşayığıt, O. (2020). Using augmented reality to teach fifth grade students about electrical circuits. *Education and Information Technologies*, 25(2), 1371-1385. <https://doi.org/10.1007/s10639-019-10001-9>
- Cai, S., Li, H., & Wu, S. (2026). The impact of AR tools on collaborative inquiry in secondary biology education: an embodied cognition perspective. *Research in Science & Technological Education*. <https://doi.org/10.1080/02635143.2026.2644978>
- Cai, S., Liu, Z., Liu, C., Zhou, H., & Li, J. (2022). Effects of a BCI-Based AR Inquiring Tool on Primary Students' Science Learning: A Quasi-Experimental Field Study. *Journal of Science Education and Technology*, 31(6), 767-782. <https://doi.org/10.1007/s10956-022-09991-y>
- Chang, H.-Y., Binali, T., Liang, J.-C., Chiou, G.-L., Cheng, K.-H., Lee, S. W.-Y., & Tsai, C.-C. (2022). Ten years of augmented reality in education: A meta-analysis of (quasi-) experimental studies to investigate the impact. *Computers & Education*, 191, Article 104641. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2022.104641>
- Chang, S.-C., & Hwang, G.-J. (2018). Impacts of an augmented reality-based flipped learning guiding approach on students' scientific project performance and perceptions. *Computers & Education*, 125, 226-239. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2018.06.007>
- Chen, S.-Y., & Liu, S.-Y. (2020). Using augmented reality to experiment with elements in a chemistry course. *Computers in Human Behavior*, 111, Article 106418. <https://doi.org/10.1016/j.chb.2020.106418>
- Chuang, C.-H., Lo, J.-H., & Wu, Y.-K. (2023). Integrating Chatbot and Augmented Reality Technology into Biology Learning during COVID-19. *Electronics*, 12(1), Article 222. <https://doi.org/10.3390/electronics12010222>
- Demircioglu, T., Karakus, M., & Ucar, S. (2023). Developing Students' Critical Thinking Skills and Argumentation Abilities Through Augmented Reality-Based Argumentation Activities in Science Classes. *Science and Education*, 32(4), 1165-1195. <https://doi.org/10.1007/s11191-022-00369-5>
- Faria, A., & Lobato Miranda, G. (2024). The Effect of Augmented Reality on Learning Meiosis via Guided Inquiry and Pecha Kucha: A Quasi-Experimental Design. *Information*, 15(9), Article 566. <https://doi.org/10.3390/info15090566>
- Faria, A., & Miranda, G. L. (2024). Augmented Reality in Natural Sciences and Biology Teaching: Systematic Literature Review and Meta-Analysis. *Emerging Science Journal*, 8(4), 1666-1685. <https://doi.org/10.28991/ESJ-2024-08-04-025>
- Faridi, H., Tuli, N., Mantri, A., Singh, G., & Gargish, S. (2021). A framework utilizing augmented reality to improve critical thinking ability and learning gain of the students in Physics. *Computer Applications in Engineering Education*, 29(1), 258-273. <https://doi.org/10.1002/cae.22342>
- Haryadi, R., Pujiastuti, H., & Utomo, D. W. (2026). Interactive visualization of thermodynamic concepts through augmented reality to improve critical thinking. *Computers and Education*:

- X Reality, 8, Article 100137. <https://doi.org/10.1016/j.cexr.2026.100137>
- Ibáñez, M.-B., & Delgado-Kloos, C. (2018). Augmented reality for STEM learning: A systematic review. *Computers & Education*, 123, 109-123. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2018.05.002>
- Kaharuddin, A., García García, J., Magfirah, I., & Yulismayanti, Y. (2025). Validating a TPCCK-S instrument for hologram-based mathematics teaching. *Indonesian Journal on Learning and Advanced Education*, 7(3), 525-536. <https://doi.org/10.23917/ijolae.v7i3.12119>
- Kaharuddin, A., Tulak, T., & Tulak, H. (2026). Co-constructing concepts: A participatory inquiry into slow learners' engagement with an adaptive AI tutor. *Educational Technology Research and Development*. Advance online publication. <https://doi.org/10.1007/s11423-026-10702-2>
- Kyza, E. A., & Georgiou, Y. (2019). Scaffolding augmented reality inquiry learning: the design and investigation of the TraceReaders location-based, augmented reality platform. *Interactive Learning Environments*, 27(2), 211-225. <https://doi.org/10.1080/10494820.2018.1458039>
- Ladykova, T. I., Sokolova, E. I., Grebenshchikova, L. Y., Sakhieva, R. G., Lapidus, N. I., & Cheresheva, Y. V. (2024). Augmented reality in environmental education: A systematic review. *Eurasia Journal of Mathematics, Science and Technology Education*, 20(8), Article em2488. <https://doi.org/10.29333/ejmste/14914>
- Liao, Y.-J., Tarng, W., & Wang, T.-L. (2025). The effects of an augmented reality lens imaging learning system on students' science achievement, learning motivation, and inquiry skills in physics inquiry activities. *Education and Information Technologies*, 30(4), 5059-5104. <https://doi.org/10.1007/s10639-024-12973-9>
- Lin, X.-F., Hwang, G.-J., Wang, J., Zhou, Y., Li, W., Liu, J., & Liang, Z.-M. (2023). Effects of a contextualised reflective mechanism-based augmented reality learning model on students' scientific inquiry learning performances, behavioural patterns, and higher order thinking. *Interactive Learning Environments*, 31(10), 6931-6951. <https://doi.org/10.1080/10494820.2022.2057546>
- Majid, N. A. A., & Majid, N. A. (2018). Augmented reality to promote guided discovery learning for STEM learning. *International Journal on Advanced Science, Engineering and Information Technology*, 8(4-2), 1494-1500. <https://doi.org/10.18517/ijaseit.8.4-2.6801>
- Önal, N. T., & Önal, N. (2021). The effect of augmented reality on the astronomy achievement and interest level of gifted students. *Education and Information Technologies*, 26(4), 4573-4599. <https://doi.org/10.1007/s10639-021-10474-7>
- Papanastasiou, G., Drigas, A., Skianis, C., Lytras, M., & Papanastasiou, E. (2019). Virtual and augmented reality effects on K-12, higher and tertiary education students' twenty-first century skills. *Virtual Reality*, 23(4), 425-436. <https://doi.org/10.1007/s10055-018-0363-2>
- Rahmayani, F., Kuswanto, H., & Rahmat, A. D. (2024). Development of E-Book Integrated Augmented Reality Based on STEM Approaches to Improve Critical Thinking and Multiple Representation Skills in Learning Physics. *International Journal of Information and Education Technology*, 14(4), 632-641. <https://doi.org/10.18178/ijiet.2024.14.4.2087>
- Sahin, D., & Yilmaz, R. M. (2020). The effect of Augmented Reality Technology on middle school students' achievements and attitudes towards science education. *Computers & Education*, 144, Article 103710. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2019.103710>
- Schmidthaler, E., Anđić, B., Schmollmüller, M., Sabitzer, B., & Lavicza, Z. (2023). Mobile augmented reality in biological education: perceptions of austrian secondary school teachers. *Journal on Efficiency and Responsibility in Education and Science*, 16(2), 113-127. <https://doi.org/10.7160/eriesj.2023.160203>

- Sofianidis, A., Skraparlis, C., & Stylianidou, N. (2024). Combining Inquiry, Universal Design for Learning, Alternate Reality Games and Augmented Reality Technologies in Science Education: The IB-ARGI Approach and the Case of Magnetman. *Journal of Science Education and Technology*, 33(6), 928-953. <https://doi.org/10.1007/s10956-024-10135-7>
- Stanič, K., & Špernjak, A. (2025). Augmented Reality in Biology Education: A Literature Review. *Multimodal Technologies and Interaction*, 9(12), Article 117. <https://doi.org/10.3390/mti9120117>
- Sun, J. C.-Y., Ye, S.-L., Yu, S.-J., & Chiu, T. K. F. (2023). Effects of Wearable Hybrid AR/VR Learning Material on High School Students' Situational Interest, Engagement, and Learning Performance: the Case of a Physics Laboratory Learning Environment. *Journal of Science Education and Technology*, 32(1), 1-12. <https://doi.org/10.1007/s10956-022-10001-4>
- Wang, X.-M., Yu, D.-D., Yu, X.-H., Hwang, G.-J., & Li, F. (2024). Impacts of augmented reality-supported STEM education on students' achievement: A meta-analysis of selected SSCI publications from 2010 to 2023. *Education and Information Technologies*, 29(15), 20547-20585. <https://doi.org/10.1007/s10639-024-12641-y>
- Wen, Y., Lai, C., He, S., Cai, Y., Looi, C. K., & Wu, L. (2024). Investigating primary school students' epistemic beliefs in augmented reality-based inquiry learning. *Interactive Learning Environments*, 32(9), 5355-5372. <https://doi.org/10.1080/10494820.2023.2214182>
- Wen, Y., Wu, L., He, S., Ng, N. H.-E., Teo, B. C., Looi, C. K., & Cai, Y. (2023). Integrating augmented reality into inquiry-based learning approach in primary science classrooms. *Educational Technology Research and Development*, 71(4), 1631-1651. <https://doi.org/10.1007/s11423-023-10235-y>
- Xu, W.-W., Su, C.-Y., Hu, Y., & Chen, C.-H. (2022). Exploring the Effectiveness and Moderators of Augmented Reality on Science Learning: a Meta-analysis. *Journal of Science Education and Technology*, 31(5), 621-637. <https://doi.org/10.1007/s10956-022-09982-z>
- Yang, S., Mei, B., & Yue, X. (2018). Mobile Augmented Reality Assisted Chemical Education: Insights from Elements 4D. *Journal of Chemical Education*, 95(6), 1060-1062. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.8b00017>
- Zhang, W., & Wang, Z. (2021). Theory and practice of VR/AR in k-12 science education—a systematic review. *Sustainability*, 13(22), Article 12646. <https://doi.org/10.3390/su132212646>
- Zhang, Y., Feijoo-Garcia, M. A., Gu, Y., Popescu, V., Benes, B., & Magana, A. J. (2024). Virtual and Augmented Reality in Science, Technology, Engineering, and Mathematics (STEM) Education: An Umbrella Review. *Information*, 15(9), Article 515. <https://doi.org/10.3390/info15090515>

Biografi Penulis



Adis Sherly, merupakan alumni Program Studi Magister Pendidikan Biologi, Program Pascasarjana, Universitas Muhammadiyah Palembang. Fokus pengembangan profesional dan akademiknya berkaitan dengan pembelajaran IPA/biologi, inovasi media pembelajaran *Augmented Reality* berbasis *Discovery Learning* terhadap peningkatan kemampuan berpikir tingkat tinggi murid dan Nilai Afektif fase D.
Email: adis.sherly@gmail.com

	Saleh Hidayat, adalah seorang dosen tetap pada Universitas Muhammadiyah Palembang yang memiliki latar belakang pendidikan Biologi. Beliau aktif dalam kegiatan pendidikan, penelitian, dan pengabdian masyarakat serta pengembangan kelembagaan perguruan tinggi. Beliau pernah menjabat sebagai Wakil Dekan Bidang Akademik, Administrasi, dan Sumber Daya Manusia FKIP Universitas Muhammadiyah Palembang dan sekarang merupakan Wakil Rektor I Bidang Akademik di Universitas Muhammadiyah Palembang, Palembang, Indonesia, Email: salehhidayat29@gmail.com
	Bagas Rasid Sidik, adalah seorang dosen Universitas Muhammadiyah Palembang, Indonesia yang bergerak di bidang Pendidikan Biologi. Beliau menyelesaikan Pendidikan Doktoral Pendidikan Biologi di Universitas Negeri Malang pada tahun 2023. Beliau aktif dalam kegiatan akademik, penelitian, pengembangan pembelajaran khususnya dalam bidang pembelajaran pendidikan biologi. Email: bagasrasid50@gmail.com