

IMPLEMENTASI *AUGMENTED REALITY* DALAM PEMBELAJARAN BIOLOGI DI INDONESIA: ANALISIS KRITIS TERHADAP VALIDASI METODOLOGIS DAN EFEKTIVITAS PEDAGOGIS

Syarifah Fadiya Hallaby ^{*1)}, Ade Syahputra ²⁾

¹⁾ Prodi Pendidikan Biologi, FKIP, Universitas Abulyatama, Aceh, Indonesia

²⁾ Prodi Teknik Informatika, Fakultas Sains, Teknik, dan Desain, Universitas Trilogi, DKI Jakarta, Indonesia

**Corresponding author*

e-mail: sy.fadiya_biologi@abulyatama.ac.id

Article history:

Submitted: July 20th, 2025; Revised: July 28th, 2025; Accepted: Aug. 05th, 2025; Published: Aug. 13th, 2025

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan menganalisis kualitas metodologis dan efektivitas pedagogis implementasi *Augmented Reality* (AR) dalam pembelajaran biologi di Indonesia melalui tinjauan sistematis. Sembilan penelitian periode 2021-2025 dianalisis menggunakan kerangka kerja validasi metodologis dan kriteria efektivitas pedagogis. Hasil menunjukkan dominasi validasi kualitatif (77,8%) dengan hanya dua penelitian (22,2%) menerapkan uji *pretest-posttest* untuk mengukur efektifitas AR terhadap hasil belajar. Implementasi AR mencakup konsep fisiologi manusia, fungi, bakteri, dan biologi sel, dengan AR berbasis marker untuk visualisasi struktur-anatomi dan AR tanpa marker untuk proses dinamis. Tingkat implementasi didominasi SMA (66,7%) dengan desain intervensi jangka pendek. Analisis temporal menunjukkan evolusi dari eksperimen eksplorasi menuju intervensi terstruktur, namun pembuktian efektivitas empiris masih terbatas pada pengukuran motivasi dan pemahaman konseptual. Diperlukan penguatan kerangka validasi metodologis yang terstandarisasi dan penyesuaian kurikulum untuk memastikan relevansi pedagogis berkelanjutan dalam konteks pendidikan biologi Indonesia. Rekomendasi meliputi penguatan metodologi penelitian, program pelatihan guru sistematis, dan kemitraan institusi-industri untuk pengembangan konten berkualitas.

Kata Kunci: pembelajaran biologi; *augmented reality*; uji efektifitas; uji validitas

PENDAHULUAN

Augmented Reality (AR) adalah teknologi yang menggabungkan konten digital seperti grafis 3D, audio, atau data dengan dunia fisik secara *real-time*, menciptakan pengalaman yang imersif dan interaktif bagi pengguna (Azuma, 1997; Billinghurst *et al.*, 2015). Berbeda dengan *Virtual Reality* (VR) yang sepenuhnya menggantikan lingkungan nyata (Fitria, 2023; Fusaro *et al.*, 2025), AR memperkaya dunia nyata dengan mengintegrasikan elemen virtual ke dalam konteks fisik yang telah ada (Fitria, 2023; Schorr *et al.*, 2024).

Konsep AR pertama kali diperkenalkan oleh Ivan Sutherland pada tahun 1968 melalui pengembangan sistem tampilan *head-mounted* yang dikenal sebagai “*Sword of Damocles*”. Perangkat revolusioner ini memungkinkan interaksi *real-time* antara grafis digital dan gerakan pengguna, sehingga meletakkan fondasi bagi teknologi imersif modern (Sutherland, 1968). Perkembangan penting selanjutnya terjadi pada tahun 1990, ketika Tom Caudell, seorang peneliti di Boeing, secara resmi menciptakan istilah “*Augmented Reality*” untuk menggambarkan sistem

digital overlay yang dirancang untuk membantu pekerja dalam proses perakitan pesawat (Caudell & Mizell, 1992). Tahapan-tahapan penting pencapaian awal ini menetapkan AR sebagai inovasi yang tidak hanya bersifat teoritis, tetapi juga memiliki aplikasi praktis yang berkembang dari prototipe eksperimental menuju implementasi praktis di bidang industri dan pendidikan.

Implementasi AR dalam pendidikan dapat dipahami melalui *Technology Acceptance Model* (TAM) oleh Davis *et al.* (1989) dan pengembangannya dalam *Unified Theory of Acceptance and Use of Technology* (UTAUT) oleh Venkatesh *et al.* (2003). Model-model ini menjelaskan bahwa efektivitas AR ditentukan oleh *perceived usefulness*, *perceived ease of use*, dan kondisi pendukung pembelajaran (Alyoussef, 2022).

Dari sisi pedagogis, AR memfasilitasi pembelajaran aktif melalui *hands-on experience* dan representasi visual yang mengadopsi prinsip-prinsip *Constructivist Learning Theory*. Pendekatan ini sesuai dengan pandangan Piaget tentang pembelajaran aktif dan konsep Vygotsky mengenai *Zone of Proximal Development* (Devi, 2019). AR memungkinkan siswa membangun pemahaman melalui eksplorasi mandiri objek virtual dan interaksi langsung dengan materi pembelajaran. Penelitian yang dilakukan oleh Afnan dan Puspitawati (2024) menunjukkan efektivitas pendekatan konstruktivis berbasis AR dalam meningkatkan pemahaman konsep biologi yang tergolong kompleks

Lebih lanjut, kerangka kerja *Technological Pedagogical Content Knowledge* (TPACK) yang dikembangkan oleh Mishra dan Koehler (2006) menyediakan framework integratif untuk

mengevaluasi implementasi teknologi dalam pembelajaran. Model ini memungkinkan analisis keselarasan optimal antara tiga komponen utama: konten biologi, strategi pedagogis, dan teknologi AR. Melalui perspektif TPACK, efektivitas AR dalam pembelajaran biologi dapat dinilai berdasarkan kualitas integrasi ketiga domain pengetahuan tersebut secara sinergis.

Penelitian terkini menunjukkan bahwa implementasi media berbasis AR mampu meningkatkan motivasi belajar (Destiara, 2020; Rahmawati *et al.*, 2022), pemahaman konseptual (Mardiyah *et al.*, 2020), dan retensi pengetahuan siswa (Tamam & Qomaria, 2023). Media AR juga mampu mendukung pembelajaran inklusi bagi siswa berkebutuhan khusus dalam memahami konsep biologi (Febrita *et al.*, 2022)

Meskipun demikian, potensi pedagogis AR yang sangat besar tidak didukung oleh rigor metodologis dalam penelitian-penelitian yang mengkaji efektivitas AR dalam pembelajaran. Sejumlah besar penelitian cenderung hanya mengandalkan penilaian ahli atau persepsi subjektif siswa tanpa melakukan pengujian efektivitas yang memadai (Firmantara *et al.*, 2023). Celah metodologis ini menimbulkan pertanyaan tentang validitas dan reliabilitas terhadap efektivitas AR dalam temuan-temuan yang dilaporkan.

Dengan berlandaskan hal tersebut, tinjauan sistematis ini menganalisis 67 artikel penelitian terkait teknologi multimedia dalam pembelajaran biologi di Indonesia dan diterbitkan dalam rentang waktu 2021-2025, dengan fokus mendalam pada 9 penelitian yang secara spesifik mengimplementasikan media berbasis AR. Tinjauan ini secara komprehensif mengevaluasi jenjang pendidikan yang

menjadi target, metode validasi yang diterapkan, serta ketangguhan metodologi dalam pengujian efektivitas. Melalui identifikasi sistematis terhadap kekuatan dan kelemahan metodologis yang ada, tinjauan ini bertujuan untuk memberikan panduan yang berbasis bukti bagi penelitian masa depan sekaligus mendukung integrasi AR yang lebih efektif dalam pendidikan biologi.

METODE

Desain Penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan *Systematic Literature Review* (SLR) yang mengacu pada kerangka kerja PRISMA 2020 (Page *et al.*, 2021) dengan mengadaptasi protokol dari penelitian (Okoli & Schabram, 2010) untuk memastikan ketelitian metodologis dan transparansi penelitian. Tinjauan sistematis ini bertujuan mengidentifikasi dan menganalisis penelitian empiris mengenai implementasi multimedia dalam pendidikan biologi, dengan fokus khusus pada penerapan teknologi *Augmented Reality* (AR) dalam konteks pembelajaran biologi di Indonesia.

Kualitas metode yang digunakan dalam artikel penelitian dianalisis menggunakan *Mixed Methods Appraisal Tool* (MMAT) 2018 (Hong *et al.*, 2018) dan refleksi berbasis *Critical Appraisal Skills Programme* (CASP) (Treloar *et al.*, 2000). MMAT digunakan untuk menilai penelitian yang menerapkan desain kuantitatif dengan mengevaluasi lima domain utama, meliputi: (1) kejelasan pertanyaan penelitian, (2) kesesuaian desain penelitian, (3) representativitas sampel, (4) keandalan instrumen pengukuran, dan (5) kualitas analisis data.

Sementara itu, CASP digunakan untuk mengevaluasi penelitian pengembangan media yang tidak sepenuhnya menggunakan desain kuantitatif. Untuk penelitian berbasis validasi pengguna dan teknis, refleksi CASP menekankan pada aspek kejelasan tujuan penelitian, relevansi hasil, dan kontribusi pedagogis. Hasil penilaian kedua instrumen ini digunakan untuk mengidentifikasi kekuatan dan kelemahan metodologis masing-masing penelitian, serta memberikan landasan yang lebih kuat dalam interpretasi efektivitas implementasi AR dalam pembelajaran biologi.

Sumber Data dan Strategi Penjaringan Literatur

Penjaringan literatur dilakukan menggunakan basis data Google Scholar sebagai sumber utama, dengan pertimbangan cakupan yang luas terhadap publikasi akademik berbahasa Indonesia dan Inggris. Strategi pencarian dikembangkan secara sistematis menggunakan kombinasi kata kunci yang terstruktur untuk menargetkan penggunaan multimedia dalam pembelajaran biologi.

String pencarian utama terdiri atas "pembelajaran biologi"; "multimedia" AND "biology education"; "multimedia" OR "teknologi pembelajaran" OR "media digital". Operator eksklusif ditambahkan untuk meningkatkan spesifisitas berupa -matematika -fisika -kimia -IPS -"pendidikan agama" -"pembelajaran agama" -"pendidikan bahasa" -"pembelajaran bahasa" -"pendidikan anak usia dini" -TK -SD -PAUD -"pengabdian masyarakat" -pelatihan -"kompetensi guru" -skripsi. Pencarian dibatasi pada publikasi dalam rentang waktu lima tahun terakhir (2021–2025) untuk memastikan relevansi

dengan perkembangan teknologi pendidikan kontemporer dan praktik pembelajaran terkini.

Kriteria Seleksi

Kriteria seleksi terdiri atas Kriteria Inklusi dan Eksklusi. Kriteria Inklusi terdiri atas (1) artikel jurnal yang telah melalui proses *peer-review* dan dipublikasikan pada jurnal terindeks Garuda dan/atau Sinta; (2) fokus penelitian pada implementasi multimedia dalam pendidikan biologi di Indonesia; (3) dipublikasikan dalam rentang tahun 2021 hingga 2025; (4) tersedia dalam format teks lengkap dengan aksesibilitas penuh (5) ditulis dalam Bahasa Indonesia atau Bahasa Inggris. Kriteria Eksklusi meliputi (1) publikasi *non-peer reviewed* (skripsi, tesis, disertasi, laporan penelitian, buku, web artikel); (2) prosiding konferensi, artikel review dan pengabdian masyarakat; (3) penelitian tidak berkaitan dengan bidang pembelajaran biologi di Indonesia; (4) publikasi dengan akses terbatas atau teks lengkap tidak dapat diperoleh.

Proses Seleksi dan Penjaringan

Implementasi strategi penjaringan artikel menghasilkan 312 artikel pada tahap identifikasi awal. Proses seleksi dilakukan melalui empat tahapan sesuai dengan protokol PRISMA 2020 (Page *et al.*, 2021) sebagai berikut:

1. **Tahap Identifikasi:** Pencarian komprehensif menghasilkan 312 artikel potensial
2. **Tahap Penyaringan:** Evaluasi berdasarkan judul dan abstrak untuk menilai relevansi dengan topik penelitian

3. **Tahap Kelayakan:** Penilaian teks lengkap dengan menerapkan kriteria inklusi dan eksklusi secara ketat
4. **Tahap Inklusi:** Seleksi final berdasarkan relevansi konten

Setelah menerapkan kriteria seleksi secara sistematis, 67 artikel dipertahankan untuk analisis komprehensif. Dari kelompok ini, 9 penelitian yang secara spesifik mengimplementasikan teknologi AR sebagai media pembelajaran utama dianalisis lebih lanjut secara mendalam. Sub-seleksi ini didasarkan pada kriteria tambahan yakni penggunaan AR sebagai media pembelajaran biologi di Indonesia.

Ekstraksi dan Analisis Data

Data dari artikel yang dipilih diekstraksi berdasarkan informasi bibliografis, karakteristik metodologis, populasi dan sampel, dan temuan utama. Analisis dilakukan secara naratif dengan pendekatan tematik untuk mengidentifikasi pola, tren, dan kesenjangan dalam implementasi teknologi AR dalam pendidikan biologi. Proses seleksi dan analisis ini didokumentasikan secara komprehensif mengikuti kerangka kerja PRISMA 2020 untuk memastikan transparansi dan reproduktibilitas metodologi penelitian.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian ini menganalisis sembilan penerapan teknologi berbasis *Augmented Reality* (AR) dalam pendidikan biologi yang dilakukan di Indonesia antara tahun 2021 hingga 2025 (Tabel 1.). Analisis difokuskan pada praktik validasi, pengujian efektivitas, konsep biologi yang

ditargetkan, dan level pendidikan. Temuan menunjukkan adanya kematangan metodologis yang semakin berkembang dan keragaman konsep, mencerminkan

inovasi pada tingkat nasional sekaligus keselarasan dengan tren global dalam pendidikan sains berbasis AR.

Tabel 1. Penelitian penerapan *Augmented Reality* dalam pembelajaran Biologi di Indonesia

Artikel Penelitian	Tingkat Pendidikan	Jenis AR	Konsep Biologi	Metode Validasi	Hasil Utama
Annisa <i>et al.</i> (2022)	SMA/MA/ SMK	Rancangan aplikasi smartphone AR berbasis marker	Sistem gerak manusia	Uji validitas, uji, praktikalitas, uji efektivitas menggunakan kuisioner	Meningkatkan minat belajar
Cahyaningrum <i>et al.</i> (2022)	SMA/MA/ SMK	Buku terintegrasi AR berbasis marker	Sistem pencernaan manusia	Pengujian media & kuisioner pengguna	Meningkatkan minat belajar
Rahmawati <i>et al.</i> (2022)	Universitas	AR berbasis smartphone	Sel	Kuesioner, observasi, wawancara	Meningkatkan motivasi belajar, keaktifan, pemahaman konsep dan kemampuan berfikir kritis
Rosadi dan Maulidi (2022)	SMP/MTs	Aplikasi Android AR berbasis marker	Sistem rangka dan otot	Pengujian <i>Black box</i> , uji efisiensi menggunakan angket dan uji efektifitas menggunakan <i>pretest-posttest</i>	Peningkatan hasil belajar
Azrai <i>et al.</i> (2023)	SMA/MA/ SMK	AR-Sinaps (Aplikasi Android)	Sistem pernapasan	<i>Pretest-posttest control group design</i> , uji-t	Peningkatan hasil belajar
Mulyani <i>et al.</i> (2023)	SMA/MA/ SMK	Aplikasi Android AR berbasis marker	Bakteri	Uji fungsionalitas media dan uji pengguna	Aplikasi dapat membantu proses belajar
Nur <i>et al.</i> (2023)	SMA/MA/ SMK	Aplikasi Android AR berbasis marker	Fungi	Uji Media	Media dapat digunakan
Anisa dan Hadiwandura (2024)	SMA/MA/ SMK	Aplikasi Android AR tanpa marker	Pembelahan sel	Pengujian ISO 25010 dan <i>user experience</i>	Media AR dapat menggantikan media praktik
Wardiana <i>et al.</i> (2025)	Tidak disebutkan	Aplikasi AR berbasis marker	Fungi	Pengujian <i>Black box</i> & uji pengalaman pengguna	Media AR dapat digunakan sebagai media pembelajaran

Pengujian Validasi, Efektivitas dan Kualitas Metodologis

Analisis terhadap sembilan penelitian yang dikaji menunjukkan variasi signifikan dalam pendekatan validasi media AR untuk

pembelajaran biologi. Sebagian besar penelitian (77,8%) menggunakan pendekatan validasi kualitatif melalui penilaian ahli dan pengguna, seperti uji praktikalitas, uji media, dan penilaian

pengguna melalui angket atau wawancara. Meskipun pendekatan ini memberikan wawasan tentang kelayakan dan kegunaan media, pendekatan tersebut memiliki keterbatasan dalam menyediakan bukti empiris yang kuat tentang efektivitas pembelajaran.

Hanya dua penelitian (22,2%) yang menerapkan validasi kuantitatif berbasis statistik untuk mengukur peningkatan hasil belajar. *Pretest-posttest control group design* oleh Azrai *et al.* (2023) dan *pretest-posttest* oleh Rosadi dan Maulidi (2022). Kedua penelitian ini dianalisis dengan menggunakan kerangka penilaian MMAT versi 2018, khususnya domain untuk penelitian kuantitatif *non-randomized*.

Penelitian Azrai *et al.* (2023) menggunakan *quasi-experimental design* dengan kelompok kontrol, di mana dua dari lima kelas dipilih melalui *cluster random sampling* menggunakan metode undian. Meskipun randomisasi dilakukan pada tingkat kelas, bukan individu, pendekatan ini tetap memenuhi prinsip alokasi acak dalam konteks pendidikan formal. Berdasarkan lima domain MMAT untuk penelitian kuantitatif *non-randomized*, penelitian ini memenuhi semua domain: (1) kelompok pembanding yang sesuai, (2) intervensi dilaksanakan sebagaimana dirancang, (3) pengukuran hasil yang valid dan reliabel, (4) analisis statistik yang tepat, serta (5) kontrol terhadap faktor perancu melalui randomisasi pada tingkat klaster. Maka, penelitian ini memperoleh skor MMAT 5 dari 5, menunjukkan kualitas metodologis yang tinggi.

Penelitian oleh Rosadi dan Maulidi (2022) menggunakan desain *pretest-posttest* tanpa kelompok kontrol untuk menguji efektivitas aplikasi AR pada materi sistem rangka dan otot di tingkat SMP. Penelitian ini memenuhi tiga domain

MMAT: (1) kejelasan pertanyaan penelitian dan kesesuaian desain, (2) pelaksanaan intervensi sesuai protokol, dan (3) analisis statistik yang sesuai dengan tujuan penelitian. Namun, tidak adanya kelompok pembanding dan kurangnya informasi tentang validitas serta reliabilitas instrumen menyebabkan dua domain tidak terpenuhi, sehingga penelitian ini memperoleh skor MMAT 3 dari 5.

Kedua penelitian menunjukkan peningkatan hasil belajar yang terukur secara statistik, namun kekuatan bukti (*strength of evidence*) berbeda. Hanya satu penelitian yang menggunakan *quasi-experimental design* dengan kelompok kontrol. Penilaian MMAT ini mengindikasikan bahwa meskipun pendekatan kuantitatif mulai diterapkan dalam penelitian AR di bidang pendidikan biologi Indonesia, pelaporan metodologis yang komprehensif dan kontrol yang ketat terhadap variabel perancu masih perlu diperkuat untuk meningkatkan validitas internal dan kualitas bukti ilmiah.

Beberapa penelitian menunjukkan kelemahan metodologis yang signifikan. Rahmawati *et al.* (2022) melaporkan bahwa penggunaan aplikasi AR berbasis Android meningkatkan minat, keaktifan, pemahaman, penguasaan istilah sains, dan kemampuan berpikir kritis. Meskipun penelitian ini menunjukkan desain eksploratif dan pelaporan naratif yang diterima menurut *Critical Appraisal Skills Programme* (CASP), klaim tersebut hanya didasarkan pada wawancara dan observasi tanpa dukungan uji statistik yang memadai. Demikian pula, Annisa *et al.* (2022) dan Cahyaningrum *et al.* (2022) yang melaporkan peningkatan minat belajar akibat penggunaan media AR, tetapi tidak menyertakan bukti empiris atau triangulasi data yang kuat untuk mendukung temuan.

Empat penelitian lainnya (Anisa & Hadiwandura, 2024; Mulyani *et al.*, 2023; Nur *et al.*, 2023; Wardiana *et al.*, 2025) lebih menitikberatkan pada aspek pengembangan media, dengan validasi yang terbatas pada uji fungsionalitas atau pengalaman pengguna. Dalam penelitian-penelitian ini, pengguna hanya berfungsi untuk memvalidasi bahwa media dapat digunakan sebagai media pembelajaran, tanpa mengukur dampak sebenarnya terhadap pencapaian pembelajaran. Hal ini menunjukkan bahwa sebagian besar penelitian belum sepenuhnya memenuhi standar evaluasi efektivitas pedagogis yang ketat.

Temuan ini sejalan dengan kritik global yang menyatakan bahwa penelitian AR sering kali menitikfokuskan pada pengembangan media sehingga kurang memiliki kerangka validasi yang konsisten dan indikator pengukuran yang kuat terhadap efektivitas media, khususnya dalam peningkatan hasil belajar siswa (Firmantara *et al.*, 2023; Syskowski *et al.*, 2024). Kondisi ini mencerminkan tantangan yang lebih luas dalam penelitian teknologi pendidikan, di mana inovasi teknologi sering kali tidak diikuti dengan evaluasi pedagogis yang memadai.

Meskipun tidak ada penelitian yang dieliminasi karena kualitas metodologis yang buruk, interpretasi hasil dari penelitian-penelitian ini perlu dilakukan dengan kehati-hatian. Keterbatasan dalam desain penelitian, khususnya kurangnya penggunaan metode validasi kuantitatif, membatasi kemampuan untuk membuat kesimpulan yang kuat tentang efektivitas media AR dalam pembelajaran biologi.

Penilaian ini menegaskan perlunya penguatan kerangka validasi dan penggunaan uji statistik yang lebih konsisten dalam penelitian AR di bidang

pendidikan biologi. Penelitian masa depan perlu mengintegrasikan pendekatan kualitatif dan kuantitatif secara lebih seimbang, dengan penekanan pada pengukuran dampak pembelajaran yang dapat diverifikasi secara empiris, bukan hanya pada pengembangan dan validasi teknis media.

Konsep Biologi dan Desain Instruksional

Intervensi AR mencakup berbagai topik biologi. Konsep terkait fisiologi manusia seperti sistem pernapasan (Azrai *et al.*, 2023), sistem pencernaan (Cahyaningrum *et al.*, 2022) dan sistem gerak (Annisa *et al.*, 2022; Rosadi & Maulidi, 2022) merupakan konsep biologi yang umum dipilih oleh pengembang AR. Konsep lain yang digunakan meliputi fungsi (Nur *et al.*, 2023; Wardiana *et al.*, 2025), bakteri (Mulyani *et al.*, 2023) dan biologi sel (Anisa & Hadiwandura, 2024; Rahmawati *et al.*, 2022). Keragaman konsep ini menunjukkan fleksibilitas pedagogis AR dalam mendukung pembelajaran konsep abstrak maupun konkret dalam biologi.

Analisis lebih lanjut terhadap tipe teknologi AR yang digunakan dalam pembelajaran biologi menunjukkan adanya kecenderungan pedagogis yang berbeda, bergantung pada jenis AR dan konsep biologis yang disajikan. Mayoritas penelitian menggunakan AR berbasis marker (88,9%) dan hanya satu penelitian yang menggunakan AR tanpa marker (11,1%). AR berbasis marker digunakan untuk memvisualisasikan struktur dan anatomi, seperti organ tubuh dan sistem biologis, karena kemampuannya dalam pelacakan visual yang presisi dan stabil. Sebagaimana dikemukakan oleh Sulistiyono *et al.* (2024), jenis AR ini sesuai

untuk pembelajaran klasikal yang menekankan keteraturan instruksional dan stabilitas visual.

Sebaliknya, AR tanpa marker lebih banyak digunakan untuk mendukung proses dinamis seperti konsep pembelahan sel. Penelitian oleh Arifitama *et al.* (2022) menunjukkan bahwa AR tanpa marker memiliki akurasi pelacakan yang lebih tinggi dibandingkan AR berbasis marker, terutama dalam jarak dan sudut tertentu, sehingga lebih sesuai untuk pembelajaran mandiri dan eksploratif. Temuan ini diperkuat oleh Arif *et al.* (2024), yang menjelaskan bahwa AR tanpa marker memungkinkan fleksibilitas tinggi dan mendukung pembelajaran berbasis konteks.

Tingkat Pendidikan dan Konteks Implementasi

Aplikasi AR diimplementasikan di berbagai jenjang pendidikan, mulai dari SMP (Rosadi & Maulidi, 2022) hingga program sarjana (Rahmawati *et al.*, 2022). SMA muncul sebagai level pendidikan yang paling sering digunakan (66,7%) dalam penelitian yang dikaji (Anisa & Hadiwandura, 2024; Annisa *et al.*, 2022; Azrai *et al.*, 2023; Cahyaningrum *et al.*, 2022; Mulyani *et al.*, 2023; Nur *et al.*, 2023; Wardiana *et al.*, 2025). Hal ini kemungkinan disebabkan oleh tuntutan kurikulum dan kesiapan siswa dalam tugas penalaran spasial. Sebagian besar penelitian bersifat jangka pendek, dengan desain longitudinal atau lintas institusi yang masih terbatas. Kondisi ini mencerminkan tren dalam penelitian AR di Indonesia, yang masih bersifat eksploratif dalam pengembangan media pembelajaran (Gunawan *et al.*, 2025).

Secara global, tren implementasi AR menunjukkan pola serupa. Penelitian oleh

Kamińska *et al.* (2023) dan Koumpouros (2024) memperlihatkan bahwa AR paling banyak digunakan di pendidikan tinggi dan sekolah menengah, dengan fokus pada ilmu hayat, teknik dan pendidikan kesehatan. Namun, tantangan seperti biaya pengembangan, akses perangkat, dan integrasi pedagogis masih menjadi hambatan universal. Di Indonesia, Yawan (2022) menekankan bahwa meskipun AR menjanjikan pengalaman belajar yang lebih bermakna dan interaktif, penerapannya masih terbatas pada eksperimen yang bersifat terbatas dan belum terintegrasi secara sistemik dalam kurikulum nasional.

Tren dan Implikasi

Distribusi temporal penelitian menunjukkan perkembangan bertahap dari eksperimen awal berbasis eksplorasi media menuju intervensi yang lebih terstruktur dan tervalidasi. Penelitian awal cenderung fokus pada motivasi dan visualisasi, sementara penelitian terkini mulai mengintegrasikan pengujian efektivitas dengan uji statistik, meskipun masih terbatas (Azrai *et al.*, 2023; Rosadi & Maulidi, 2022). Hal ini mencerminkan kesesuaian antara penelitian AR di Indonesia dengan pergeseran global dari eksperimen berbasis kebaruan menuju desain instruksional berbasis bukti (Firmantara *et al.*, 2023; Syskowski *et al.*, 2024).

Dominasi implementasi di tingkat SMA dan pemilihan konsep fisiologi manusia, fungi, bakteri, serta biologi sel menunjukkan kesesuaian AR dengan kompleksitas pembelajaran dan struktur visual yang optimal. Diferensiasi penggunaan AR berbasis marker untuk visualisasi anatomi dan tanpa marker untuk proses dinamis menunjukkan pemahaman

yang matang tentang kesesuaian teknologi dengan tujuan pedagogis (Arifitama *et al.*, 2022; Sulistiyono *et al.*, 2024).

Namun, masih terdapat kesenjangan dalam dampak jangka panjang, skalabilitas, dan kolaborasi lintas disiplin. Sebagian besar penelitian bersifat eksperimental jangka pendek dan belum terintegrasi sistemik dalam kurikulum (Gunawan *et al.*, 2025; Yawan, 2022). Tantangan universal seperti biaya pengembangan, akses perangkat, dan integrasi pedagogis masih menjadi hambatan (Kamińska *et al.*, 2023). Penguatan kerangka validasi, metodologi penelitian yang rigorous, dan penyelarasan dengan kurikulum menjadi kunci keberlanjutan implementasi AR dalam pembelajaran biologi di Indonesia.

Batasan Penelitian

Penelitian ini memiliki beberapa keterbatasan yang perlu dipertimbangkan dalam interpretasi hasil. (1) Lingkup geografis terbatas pada penelitian-penelitian yang dilakukan di Indonesia, sehingga generalisasi temuan ke konteks internasional memerlukan kehati-hatian mengingat perbedaan sistem pendidikan, infrastruktur teknologi, dan budaya pembelajaran. (2) Rentang waktu publikasi yang dianalisis relatif terbatas dan fokus pada publikasi terbaru, yang mungkin tidak mencakup perkembangan historis yang lebih komprehensif dalam implementasi AR untuk pembelajaran biologi. (3) Ketersediaan literatur yang dianalisis bergantung pada aksesibilitas publikasi dalam basis data yang digunakan, sehingga kemungkinan terdapat penelitian relevan yang tidak terindeks atau tidak dipublikasikan secara terbuka. (4) Variabilitas metodologi antar penelitian yang dianalisis menyulitkan perbandingan

langsung efektivitas AR, karena setiap penelitian menggunakan indikator pengukuran, desain eksperimen, dan populasi sampel yang berbeda. (5) Keterbatasan data kuantitatif dalam sebagian besar penelitian primer membatasi kemampuan melakukan meta-analisis statistik yang lebih mendalam untuk mengukur besaran efek secara akurat. (6) Dinamika teknologi AR yang berkembang pesat dapat membuat temuan penelitian menjadi cepat usang, terutama terkait dengan spesifikasi teknis dan kemampuan perangkat yang terus berevolusi.

KESIMPULAN

Berdasarkan tinjauan komprehensif terhadap sembilan penelitian pendidikan biologi berbasis AR di Indonesia (2021–2025), dapat disimpulkan bahwa meskipun AR menunjukkan fleksibilitas pedagogis yang tinggi dalam mendukung berbagai konsep biologi dan evolusi positif dari eksperimen eksplorasi menuju intervensi terstruktur di tingkat SMA, sebagian besar penelitian masih mengandalkan validasi kualitatif dengan bukti empiris yang terbatas, implementasi jangka pendek, dan belum terintegrasi secara sistemik ke dalam kurikulum nasional. Untuk mencapai dampak transformatif berkelanjutan, diperlukan (1) penguatan metodologi penelitian yang lebih rigorous dengan uji statistik memadai, (2) penelitian longitudinal dan lintas budaya, (3) program pelatihan guru sistematis, (4) kemitraan institusi-industri untuk pengembangan konten berkualitas, serta (5) standarisasi metodologi penelitian AR yang diselaraskan dengan kurikulum untuk memastikan relevansi pedagogis dan

keberlanjutan implementasi AR dalam pembelajaran biologi di Indonesia.

REFERENSI

- Afnan, M. Z., & Puspitawati, R. P. (2024). Exploration of Biological Concept Understanding Through Augmented Reality: A Constructivism Theory Approach. *JPBI (Jurnal Pendidikan Biologi Indonesia)*, 10(3), 1139-1147. doi:<https://doi.org/10.22219/jpbi.v10i3.36896>
- Alyoussef, I. Y. (2022). Acceptance of a flipped classroom to improve university students' learning: An empirical study on the TAM model and the unified theory of acceptance and use of technology (UTAUT). *Heliyon*, 8(12). doi:<https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e12529>
- Anisa, F. D., & Hadiwandura, T. Y. (2024). Rancang Bangun Aplikasi Android Pengenalan Pembelahan Sel Menggunakan Teknologi *Augmented Reality* Markerless. *Jurnal CoSciTech (Computer Science and Information Technology)*, 5(3), 493-501. doi: <https://doi.org/10.37859/coscitech.v5i3.7922>
- Annisa, S., Efriyanti, L., Zakir, S., & Supriadi, S. (2022). Rancangan Media Pembelajaran Biologi Kelas XI Berbasis *Augmented Reality* di MAN 2 Agam. *Indonesian Research Journal on Education*, 2(3), 957-962. doi:<https://doi.org/10.31004/irje.v2i3.198>
- Arif, S., Ardhian Akbar, A., Sukirman, & Muhammad, K. (2024, 2024/12/31). *Enhancing Learning Experiences Using Markerless Augmented Reality in Computer Hardware Education*. Paper presented at the Proceedings of the 6th Vocational Education International Conference (VEIC 2024). doi:https://doi.org/10.2991/978-2-38476-342-9_10
- Arifitama, B., Syahputra, A., & Bintoro, K. B. Y. (2022). Analisis Perbandingan Efektifitas Metode Marker dan Markerless Tracking pada Objek Augmented Reality. *Jurnal Integrasi*, 14(1), 1-7. doi:<https://doi.org/10.30871/ji.v14i1.3985>
- Azrai, E. P., Rini, D. S., Kurnianto, M. B., & Ampang, J. (2023). AR Sinaps: *Augmented Reality* Learning Media To Enhance Critical Thinking Ability. *International Journal of Education*, 16(2), 109-122. doi:<https://doi.org/10.17509/ije.v16i2.50329>
- Azuma, R. T. (1997). A Survey of Augmented Reality. *Presence: teleoperators & virtual environments*, 6(4), 355-385. doi: <https://doi.org/10.1162/pres.1997.6.4.355>
- Billinghurst, M., Clark, A., & Lee, G. (2015). A Survey of Augmented Reality. *Foundations and Trends® in Human-Computer Interaction*, 8(2-3), 73-272. doi:<https://dx.doi.org/10.1561/11000000049>
- Cahyaningrum, R., Junaedi, I., & Ichwan, H. (2022). Implementasi *Augmented Reality* pada Media Pembelajaran Animasi 3D Sistem Pencernaan Manusia Berbasis Android. *Jurnal Manajemen Informatika Jayakarta*, 2(4), 337-346. doi:<https://doi.org/10.52362/jmijayakarta.v2i4.918>
- Caudell, T. P., & Mizell, D. W. (1992). *Augmented Reality: An Application of Heads-Up Display Technology to Manual Manufacturing Processes*. Paper presented at the Hawaii international conference on system sciences. doi:<https://doi.org/10.1109/HICSS.1992.183317>
- Davis, F. D., Bagozzi, R. P., & Warshaw, P. R. (1989). Technology Acceptance Model. *J Manag Sci*, 35(8), 982-1003.
- Destiara, M. (2020). The Practicality of Teaching Material Biology of Islamic-Science based on Augmented Reality. *BIO-INOVED J. Biol.*

- Pendidik*, 2(2), 117-122. doi:<https://doi.org/10.20527/bino.v2i2.8756>
- Devi, K. S. (2019). Constructivist approach to learning based on the concepts of Jean Piaget and Lev Vygotsky An analytical Overview. *Journal of Indian Education*, 44(4), 5-19.
- Febrita, R. E., Ratri, A. A., & Ratri, I. N. (2022). *Pengembangan Media Pembelajaran Sistem Reproduksi Berbasis Augmented Reality bagi Anak Berkebutuhan Khusus*. Paper presented at the Prosiding Seminar Nasional Terapan Riset Inovatif (SENTRINOV).
- Firmantara, M., Mudakir, I., & Nuriman, N. (2023). *Augmented Reality Research Trends in Indonesia: A systematic Literature Review*. *Journal of Science Education Research*, 7(2), 71-81. doi:<https://doi.org/10.21831/jser.v7i2.60776>
- Fitria, T. N. (2023). *Augmented Reality (AR) and Virtual Reality (VR) Technology in Education: Media of Teaching and Learning: A Review*. *International Journal of Computer and Information System (IJCIS)*, 4(1), 14-25. doi:<https://doi.org/10.29040/ijcis.v4i1.102>
- Fusaro, M., Lisi, M., Era, V., Porciello, G., Candidi, M., Aglioti, S., & Boukarras, S. (2025). The Transformative Power of Virtual Reality: Redefining Interactions in Virtual Platforms, Education, Healthcare, and Workplaces. *Topoi*, 1-16. doi:<https://doi.org/10.1007/s11245-025-10216-1>
- Gunawan, R. N., Akbar, M. F. F., Ratna, N. G. A. A., & Rashid, S. (2025). Bibliometric Mapping of *Augmented Reality* in Indonesian Education: A Decade of Trends and Insights. *Journal of Technological Pedagogy and Educational Development*, 2(1), 43-54. doi:<https://doi.org/10.59247/jtped.v2i1.9>
- Hong, Q. N., Fàbregues, S., Bartlett, G., Boardman, F., Cargo, M., Dagenais, P., Gagnon, M.-P., Griffiths, F., Nicolau, B., & O'Cathain, A. (2018). The Mixed Methods Appraisal Tool (MMAT) Version 2018 for Information Professionals and Researchers. *Education for information*, 34(4), 285-291. doi:<http://doi.org/10.3233/EFI-180221>.
- Kamińska, D., Zwoliński, G., Laska-Leśniewicz, A., Raposo, R., Vairinhos, M., Pereira, E., Urem, F., Ljubić Hinić, M., Haamer, R. E., & Anbarjafari, G. (2023). Augmented Reality: Current and New Trends in Education. *Electronics*, 12(16), 3531. doi:<https://doi.org/10.3390/electronics12163531>
- Koumpouros, Y. (2024). Revealing the True Potential and Prospects of *Augmented Reality* in Education. *Smart Learning Environments*, 11(1), 2. doi:<https://doi.org/10.1186/s40561-023-00288-0>
- Mardiyah, F. H., Widodo, A., & Rochintaniawati, D. (2020). Penggunaan Aplikasi *Augmented Reality* untuk Memfasilitasi Penguasaan Konsep Peserta Didik Tentang Siklus Hidup Tumbuhan dan Keterampilan Berpikir Kreatif. *Assimilation: Indonesian Journal of Biology Education*, 3(2), 55-62. doi:<https://doi.org/10.17509/aijbe.v3i2.25796>
- Mishra, P., & Koehler, M. J. (2006). Technological Pedagogical Content Knowledge: A Framework for Teacher Knowledge. *Teachers college record*, 108(6), 1017-1054. doi:<https://doi.org/10.1111/j.1467-9620.2006.00684.x>
- Mulyani, A., Kurniadi, D., & Fadillah, H. B. (2023). Bacteria Recognition Application Model Using Marker-Based *Augmented Reality* for Android Mobile Devices. *Ultimatics: Jurnal Teknik Informatika*, 15(2), 79-83. doi:<https://doi.org/10.31937/ti.v15i2.3278>

- Nur, J., Eddy, C., & Kalidupa, A. (2023). Pengembangan E-Learning Dengan *Augmented Reality* Tumbuhan Jamur Berbasis Android. *Jurnal Informatika*, 12(2), 77-84. doi:<https://doi.org/10.55340/jiu.v12i2.1786>
- Okoli, C., & Schabram, K. (2010). A Guide to Conducting a Systematic Literature Review of Information Systems Research. *Sprouts: Working Papers on Information Systems*, 10(26), 1-49. doi:<https://dx.doi.org/10.2139/ssrn.1954824>
- Page, M. J., McKenzie, J. E., Bossuyt, P. M., Boutron, I., Hoffmann, T. C., Mulrow, C. D., Shamseer, L., Tetzlaff, J. M., Akl, E. A., & Brennan, S. E. (2021). The PRISMA 2020 Statement: an Updated Guideline for Reporting Systematic Reviews. *bmj*, 372(71), 1-9. doi:<http://dx.doi.org/10.1136/bmj.n71>
- Rahmawati, A., Gunahardi, G., & Muchtaron, M. (2022). *Augmented Reality* for Teaching Cell Materials in Biology for Undergraduate Students. *DWIJA CENDEKIA: Jurnal Riset Pedagogik*, 6(3), 475-481. doi:<https://doi.org/10.20961/jdc.v6i3.68116>
- Rosadi, M. I., & Maulidi, I. (2022). Penerapan Metode MDLC pada Rancang Bangun Aplikasi Pembelajaran Biologi Tingkat SLTP Materi Rangka dan Otak Menggunakan *Augmented Reality*. *NJCA (Nusantara Journal of Computers and Its Applications)*, 7(1), 39-48. doi:<http://dx.doi.org/10.36564/njca.v7i1.283>
- Schorr, I., Plecher, D. A., Eichhorn, C., & Klinker, G. (2024). Foreign language learning using *Augmented Reality* environments: a systematic review. *Frontiers in Virtual Reality*, Volume 5 - 2024. doi:<https://doi.org/10.3389/frvir.2024.1288824>
- Sulistiyono, M., Hasyim, J. W., Bernadhed, B., Liantoni, F., & Sidauruk, A. (2024). Comparative Study of Marker-Based and Markerless Tracking in *Augmented Reality* Under Variable Environmental Conditions. *Journal of Soft Computing Exploration*, 5(4), 413-422. doi:<https://doi.org/10.52465/josce.v5i4.503>
- Sutherland, I. E. (1968). *A Head-mounted three dimensional display*. Paper presented at the Proceedings of the December 9-11, 1968, fall joint computer conference, part I. doi:<https://doi.org/10.1145/1476589.1476686>
- Syskowski, S., Wilfinger, S., & Huwer, J. (2024). Impact and Classification of *Augmented Reality* in Science Experiments in Teaching—A Review. *Education Sciences*, 14(7), 760. doi:<https://doi.org/10.3390/educsci14070760>
- Tamam, B., & Qomaria, N. (2023). Implementation of *Augmented Reality* In Biology Learning: Its Effect on Learning Motivation and Retention. *Journal of Education Research and Evaluation*, 7(1), 17-22. doi:<https://doi.org/10.23887/jere.v7i1.59038>
- Treloar, C., Champness, S., Simpson, P. L., & Higginbotham, N. (2000). Critical Appraisal Checklist for Qualitative Research Studies. *The Indian Journal of Pediatrics*, 67(5), 347-351. doi:<https://doi.org/10.1007/BF02820685>
- Venkatesh, V., Morris, M. G., Davis, G. B., & Davis, F. D. (2003). User Acceptance of Information Technology: Toward a Unified View. *MIS quarterly*, 27(3), 425-478. doi:<https://doi.org/10.2307/30036540>
- Wardiana, T., Hidayat, E. W., & Dewi, E. N. F. (2025). Media Pembelajaran Jenis Jamur Berbasis *Augmented Reality* Menggunakan Metode Marker Based Tracking. *JTIM: Jurnal Teknologi Informasi dan Multimedia*, 7(1), 53-65. doi:<https://doi.org/10.35746/jtim.v7i1.608>
- Yawan, H. (2022). *Augmented Reality* Application: Current status,

opportunities, and challenges of Indonesian secondary education context. *EDUTEC : Journal of Education And Technology*, 5. doi:<https://doi.org/10.29062/edu.v5i3.327>