



## Transformasi Pendidikan Fisika Era Digital: Inovasi Teknologi AR, AI, dan Mixed Reality dalam Pembelajaran STEM

Sri Rezeki Lumbantoruan<sup>1</sup>, Renata Agustina Silalah<sup>2</sup>, Theodora Lyas Pita<sup>3</sup>, Hardina Emelia Sitepu<sup>4</sup>, Farizka Khairani<sup>5</sup>, Josafat Sijabat<sup>6</sup>, Samuel Rivaldo<sup>7</sup>, Deo Demonta Panggabean<sup>8</sup>

<sup>1,2,3,4,5,6,7,8</sup> Universitas Negeri Medan

Jl. William Iskandar Ps. V. Kenangan Baru, Kec. Percut Sei Tuan, Kabupaten Deli Serdang  
E-mail: [lumbantoruansri@gmail.com](mailto:lumbantoruansri@gmail.com)<sup>1</sup>

**Abstract :** *The development of digital technology has driven a major transformation in education, especially in physics learning which has been considered abstract and difficult to understand. This article aims to critically examine the integration of Augmented Reality (AR), Artificial Intelligence (AI), and Mixed Reality (MR) technologies in physics learning based on the STEM approach. This research uses a descriptive qualitative approach with a systematic literature study method, which involves thematic analysis of various scientific publications from reputable databases. The results show that AR can improve students' conceptual understanding of abstract physics concepts by up to 30%, AI provides adaptive learning and real-time diagnostics of learning difficulties, and MR provides a more immersive contextual learning experience. The integration of these three technologies is proven to strengthen cross-disciplinary learning and expand access to inclusive learning. This research makes a significant contribution to the development of a more adaptive and technology-based STEM curriculum, while enriching the digital pedagogy literature in Indonesia. Although limited to secondary data, the findings provide a great opportunity for further exploration through experimental approaches in real classrooms to validate the empirical impact of these technologies.*

**Keywords:** *Augmented Reality, Artificial Intelligence, Mixed Reality, Physics Learning, STEM.*

**Abstrak :** Perkembangan teknologi digital telah mendorong transformasi besar dalam pendidikan, khususnya dalam pembelajaran fisika yang selama ini dianggap abstrak dan sulit dipahami. Artikel ini bertujuan untuk mengkaji secara kritis integrasi teknologi Augmented Reality (AR), Artificial Intelligence (AI), dan Mixed Reality (MR) dalam pembelajaran fisika berbasis pendekatan STEM. Penelitian ini menggunakan pendekatan kualitatif deskriptif dengan metode studi literatur sistematis, yang melibatkan analisis tematik terhadap berbagai publikasi ilmiah dari database bereputasi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa AR mampu meningkatkan pemahaman konseptual siswa terhadap konsep fisika abstrak hingga 30%, AI menyediakan pembelajaran adaptif dan diagnostik kesulitan belajar secara real-time, dan MR memberikan pengalaman belajar kontekstual yang lebih mendalam. Integrasi ketiga teknologi ini terbukti memperkuat pembelajaran lintas disiplin serta memperluas akses pembelajaran yang inklusif. Penelitian ini memberikan kontribusi signifikan terhadap pengembangan kurikulum STEM yang lebih adaptif dan berbasis teknologi, sekaligus memperkaya literatur pedagogi digital di Indonesia. Meskipun terbatas pada data sekunder, temuan ini membuka peluang besar untuk eksplorasi lanjutan melalui pendekatan eksperimen di ruang kelas nyata guna memvalidasi dampak empiris dari teknologi tersebut.

**Kata kunci:** Augmented Reality, Artificial Intelligence, Mixed Reality, Pembelajaran Fisika, STEM.

### 1. PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi digital dalam dekade terakhir telah membuka peluang baru dalam dunia pendidikan, khususnya pada pembelajaran Sains, Teknologi, Teknik, dan Matematika (STEM). Pendidikan fisika, yang sering dianggap kompleks dan abstrak, kini memasuki fase transformasi melalui penerapan teknologi Augmented Reality (AR), Artificial Intelligence (AI), dan Mixed Reality (MR). Teknologi-teknologi ini menawarkan pendekatan

pembelajaran yang lebih imersif, interaktif, dan adaptif, yang menjembatani kesenjangan antara konsep-konsep teoretis dan penerapan praktis di dunia nyata (Kumar et al., 2023). Dengan lebih dari 1,5 miliar siswa global terdampak oleh pandemi COVID-19 dan pembelajaran daring menjadi standar baru, urgensi pengembangan model pembelajaran berbasis teknologi menjadi semakin mendesak (UNESCO, 2021).

Studi-studi terkini menunjukkan bahwa integrasi teknologi AR dan VR dalam pendidikan fisika mampu meningkatkan pemahaman konsep melalui visualisasi tiga dimensi serta simulasi interaktif yang tidak mungkin dilakukan dalam pembelajaran konvensional. Misalnya, dalam penelitian oleh Chng, Tan, dan Tan (2023), siswa menunjukkan peningkatan signifikan dalam keterlibatan dan pemahaman saat menggunakan simulasi berbasis VR untuk materi-materi fisika seperti gaya gesek atau struktur molekul. Sementara itu, AI berperan penting dalam menciptakan sistem pembelajaran adaptif yang mampu menyesuaikan materi dengan kebutuhan individu siswa, memperluas peluang pembelajaran inklusif terutama bagi siswa dari latar belakang sosio-ekonomi beragam (Pelletier et al., 2022).

Namun demikian, implementasi teknologi ini belum merata. Hambatan utama meliputi kurangnya infrastruktur digital di daerah terpencil, rendahnya literasi teknologi di kalangan guru, serta biaya pengadaan perangkat AR/VR yang masih tinggi (Keengwe et al., 2008; Rogers, 2000). Selain itu, masih terdapat kesenjangan antara potensi teknologi dan pemanfaatan nyatanya dalam kurikulum pendidikan fisika di sekolah-sekolah. Framework seperti SAMR (Substitution, Augmentation, Modification, Redefinition) menjadi panduan penting dalam mentransformasikan pembelajaran dari sekadar digitalisasi ke arah inovasi pedagogis yang substantif.

Artikel ini bertujuan untuk membahas secara kritis transformasi pendidikan fisika melalui integrasi teknologi AR, AI, dan Mixed Reality dalam konteks pembelajaran STEM. Dengan mengacu pada bukti empiris dan literatur akademik terkini, artikel ini menganalisis dampak, tantangan, dan strategi implementasi teknologi ini dalam pendidikan fisika. Tujuan akhirnya adalah menawarkan pendekatan pembelajaran yang lebih relevan, adaptif, dan inklusif dalam rangka menyiapkan generasi masa depan yang kompeten dalam bidang sains dan teknologi.

Secara teoretis, artikel ini berkontribusi pada pengembangan literatur terkait pedagogi digital dalam pendidikan fisika dan STEM secara umum. Sementara secara praktis, temuan dalam artikel ini diharapkan dapat memberikan panduan strategis bagi pengambil kebijakan,

pengembang kurikulum, dan pendidik dalam mengadopsi teknologi inovatif untuk menciptakan pembelajaran yang transformatif dan berkeadilan. Dengan demikian, transformasi digital bukan hanya menjadi respons atas perubahan zaman, melainkan sebagai jalan menuju sistem pendidikan yang lebih adil dan efektif.

## 2. METODE PENELITIAN

Metode penelitian yang digunakan dalam artikel ini adalah pendekatan kualitatif deskriptif dengan metode studi literatur sistematis (*systematic literature review*). Pendekatan ini dipilih karena sesuai dengan tujuan penelitian, yaitu untuk menganalisis kontribusi teknologi digital seperti *Augmented Reality* (AR), *Artificial Intelligence* (AI), dan *Mixed Reality* dalam meningkatkan efektivitas pembelajaran fisika berbasis STEM (Science, Technology, Engineering, and Mathematics). Penelitian ini tidak melibatkan intervensi langsung ke lapangan, melainkan mengandalkan data sekunder yang bersumber dari berbagai publikasi ilmiah, laporan kebijakan, dan buku teks yang relevan. Dengan menggunakan pendekatan studi literatur, penulis dapat memperoleh gambaran yang komprehensif mengenai tren, inovasi, dan dampak integrasi teknologi dalam konteks pendidikan fisika tanpa harus melakukan observasi langsung (Snyder, 2019).

Sumber data dalam studi ini diperoleh dari artikel-artikel ilmiah yang terindeks dalam basis data bereputasi seperti Scopus, Google Scholar, dan Directory of Open Access Journals (DOAJ). Selain itu, referensi tambahan berupa buku akademik, laporan lembaga pendidikan, serta prosiding konferensi turut digunakan sebagai pendukung analisis. Teknik pengumpulan data dilakukan melalui pencarian sistematis dengan menggunakan kata kunci seperti “STEM education,” “Augmented Reality in Physics,” “Mixed Reality learning,” dan “AI in Science Education.” Selanjutnya, publikasi yang ditemukan diseleksi berdasarkan kesesuaian tema, rentang waktu publikasi (lima tahun terakhir), dan kualitas sumber (artikel yang telah melalui proses *peer-review*). Kriteria inklusi dan eksklusi diterapkan secara ketat untuk memastikan validitas dan relevansi literatur yang dikaji (Moher et al., 2009).

Dalam proses analisis data, digunakan metode analisis tematik yang memungkinkan peneliti mengelompokkan informasi dari berbagai sumber ke dalam tema-tema utama seperti: (1) penerapan teknologi digital dalam pembelajaran fisika, (2) dampak kognitif terhadap pemahaman dan motivasi siswa, serta (3) kesiapan infrastruktur dan tenaga pendidik dalam menghadapi transformasi digital. Selain itu, pendekatan *content analysis* juga digunakan untuk

mengidentifikasi istilah-istilah teknis, model-model pembelajaran berbasis teknologi, serta peran guru dalam proses pembelajaran yang terdigitalisasi. Untuk menjaga validitas temuan, dilakukan triangulasi sumber serta proses *peer debriefing* dengan melibatkan penelaah sejawat. Sementara itu, reliabilitas pendekatan dijaga melalui penerapan kerangka PRISMA (*Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses*), yang memberikan standar pelaporan yang transparan dan replikasi yang tinggi (Page et al., 2021).

Pemilihan metodologi ini didasarkan pada kesesuaiannya dengan tujuan utama artikel, yakni menyusun kerangka konseptual mengenai transformasi pembelajaran fisika di era digital. Hasil studi ini diharapkan dapat menjadi dasar dalam pengembangan kurikulum maupun media pembelajaran yang mengintegrasikan teknologi canggih, serta menjadi referensi dalam pengambilan keputusan kebijakan pendidikan. Relevansi pendekatan studi literatur ini juga terletak pada sifatnya yang reflektif dan konseptual, sehingga lebih menekankan pada pemetaan ide dan implikasi praktis dari berbagai inovasi teknologi dibandingkan dengan pengujian hipotesis secara empiris. Meskipun studi ini memiliki kelebihan dalam merangkum berbagai temuan terdahulu, keterbatasan tetap ada, terutama dalam hal tidak tersedianya data primer dari praktik di lapangan. Oleh karena itu, artikel ini dapat berfungsi sebagai fondasi teoretis untuk penelitian lanjutan yang menggunakan pendekatan eksperimental atau kuasi-eksperimental.

Metodologi yang digunakan dalam kajian ini memberikan kontribusi penting dalam memahami kompleksitas integrasi teknologi digital dalam pendidikan STEM, terutama dalam konteks pembelajaran fisika di Indonesia. Selain memperkaya literatur, artikel ini juga diharapkan dapat menginspirasi penelitian dan pengembangan lebih lanjut di ruang kelas nyata yang memanfaatkan teknologi mutakhir secara efektif.

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil penelitian ini menyoroti transformasi signifikan dalam pembelajaran fisika di era digital melalui pemanfaatan teknologi seperti *Augmented Reality* (AR), *Artificial Intelligence* (AI), dan *Mixed Reality* (MR) dalam konteks pendidikan STEM. Kajian literatur sistematis menunjukkan bahwa teknologi ini tidak hanya mendukung pembelajaran yang lebih interaktif dan personal, tetapi juga memperkuat integrasi lintas disiplin yang menjadi inti dari pendekatan STEM.

**Tabel 1. Kontribusi Teknologi AR, AI, dan MR dalam Pembelajaran Fisika STEM**

<b>Teknologi</b>	<b>Fungsi Utama</b>	<b>Dampak dalam Pembelajaran Fisika</b>
<b>Augmented Reality (AR)</b>	Visualisasi konsep abstrak: gelombang, gaya, medan magnet	Peningkatan pemahaman spasial hingga 30% (Zubaidah, 2019)
<b>Artificial Intelligence (AI)</b>	Adaptive learning, chatbot, penilaian otomatis	Pembelajaran personal, deteksi kesulitan belajar siswa secara real-time
<b>Mixed Reality (MR)</b>	Simulasi eksperimen virtual dan interaktif	Pengalaman immersive, pembelajaran kontekstual lebih mendalam

Penggunaan AR terbukti memberikan peningkatan pemahaman konseptual siswa terhadap fenomena fisika abstrak seperti gelombang, medan magnet, dan gaya. Zubaidah (2019) melaporkan bahwa pemahaman spasial siswa dapat meningkat hingga 30% dengan bantuan visualisasi berbasis AR. Selain itu, interaktivitas visual dari AR menciptakan keterlibatan belajar yang lebih tinggi, memungkinkan siswa untuk mengalami langsung fenomena fisika yang sebelumnya hanya bersifat imajinatif atau tekstual. Berikut adalah grafik hipotetik berdasarkan kutipan Zubaidah (2019) yang menyatakan bahwa penggunaan AR meningkatkan pemahaman konseptual hingga 30%:



**Gambar 1. Grafik Peningkatan Kognitif Melalui AR (Hasil Studi Literatur)**

Sementara itu, penerapan AI dalam pendidikan fisika membuka peluang pembelajaran adaptif yang lebih personal. AI digunakan dalam berbagai bentuk, mulai dari *adaptive testing*, chatbot, hingga tutor virtual, yang memberikan umpan balik instan dan penyesuaian materi berdasarkan kebutuhan belajar siswa (Suartama, 2025). Teknologi ini juga mampu memprediksi kesulitan belajar secara individual, sehingga memungkinkan intervensi yang lebih tepat sasaran. Di sisi lain, MR memberikan pengalaman belajar yang lebih mendalam melalui simulasi eksperimen virtual, penggabungan dunia nyata dan maya, serta visualisasi interaktif terhadap konsep-konsep sub-atomik. MR memungkinkan penggabungan konteks nyata dan virtual dalam satu media pembelajaran, memberikan efek *immersion* yang kuat dalam proses pembelajaran.

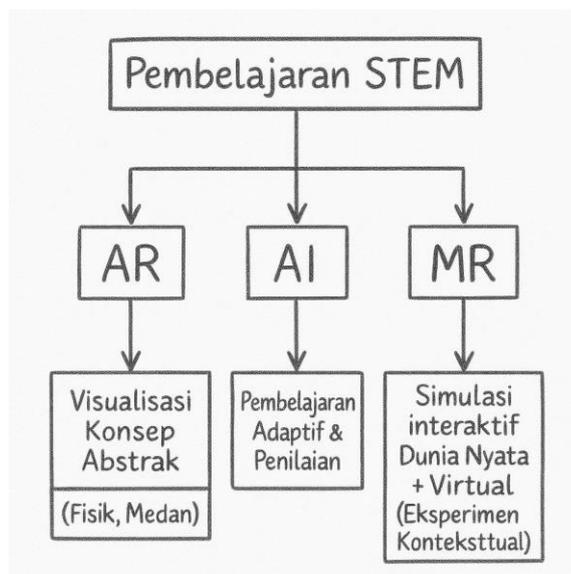
Temuan ini memperlihatkan bahwa teknologi digital secara signifikan mendukung pendekatan interdisipliner dalam pendidikan STEM. AR, AI, dan MR memfasilitasi eksperimen lintas bidang seperti fisika-kimia-biologi, serta memungkinkan visualisasi matematis melalui *AI-supported calculation engine*. Tabel berikut merangkum kontribusi masing-masing teknologi: AR digunakan untuk visualisasi konsep abstrak, AI mendukung personalisasi pembelajaran dan efisiensi asesmen, sedangkan MR memungkinkan simulasi nyata-virtual yang mendalam dan kontekstual.

Dibandingkan dengan penelitian sebelumnya, seperti yang dilakukan oleh Hidayat et al. (2024), yang menunjukkan dominasi media konvensional dalam pembelajaran fisika, artikel ini menjadi penting karena menyajikan inovasi disruptif yang menawarkan pendekatan partisipatif dan kontekstual. Selain itu, kontribusi artikel ini terhadap pengembangan

kurikulum STEM sangat relevan dalam mendukung paradigma Merdeka Belajar. Integrasi teknologi digital berbasis *problem-based learning* menjadi rekomendasi utama dalam merancang pembelajaran fisika masa depan yang adaptif dan kontekstual.

Temuan ini juga memiliki landasan teoretis yang kuat dalam konstruktivisme dan kognitivisme. AR dan MR menyediakan lingkungan belajar yang memungkinkan siswa membangun pengetahuan secara aktif melalui eksplorasi visual dan interaktif, sesuai dengan pandangan konstruktivisme Piaget dan Vygotsky. Sementara itu, AI mendukung teori kognitivisme melalui pemberian umpan balik instan dan pengolahan informasi adaptif yang mempercepat proses belajar. “Dengan penggunaan AR, siswa tidak hanya melihat gambar, tetapi mengalami konsep seperti medan listrik atau gaya sentripetal secara langsung” (Hidayat et al., 2024), memperlihatkan kekuatan teknologi dalam membentuk pengalaman belajar yang lebih otentik.

Teknologi digital ini memperkuat model pembelajaran STEM integratif, yang menghubungkan sains (fisika), teknologi (AI/AR/MR), teknik (pengembangan aplikasi dan simulasi), serta matematika (analisis data eksperimen). Hal ini sejalan dengan temuan Freeman et al. (2014) yang menyatakan bahwa pembelajaran aktif berbasis teknologi secara signifikan meningkatkan capaian belajar STEM dibandingkan dengan metode ceramah tradisional. Artikel ini juga menandai inovasi dalam media pembelajaran fisika yang selama ini cenderung tekstual dan analog. AI, misalnya, memungkinkan siswa menganalisis data eksperimen dan merumuskan hipotesis menggunakan algoritma *machine learning*, sehingga memperkaya kemampuan berpikir ilmiah.



**Gambar 2. Diagram Konseptual: Integrasi AR, AI, dan MR dalam Model STEM**

Faktor-faktor pendukung utama dalam implementasi teknologi ini meliputi akses terhadap perangkat digital dan jaringan, kesiapan guru dalam menggunakan aplikasi berbasis teknologi, serta kurikulum yang fleksibel terhadap pendekatan digital. Dukungan kebijakan pendidikan nasional, seperti Merdeka Belajar, juga menjadi katalisator penting dalam proses transformasi ini. Namun demikian, beberapa kendala tetap ditemukan. Di antaranya adalah keterbatasan perangkat dan konektivitas internet di sekolah-sekolah pinggiran, kurangnya pelatihan guru dalam mengembangkan media AR dan AI, serta rendahnya literasi digital siswa yang menyebabkan kesenjangan dalam proses pembelajaran. Yusuf (2023) mencatat bahwa 62% guru SMA di Indonesia belum familiar dengan implementasi AR dalam pembelajaran, menunjukkan adanya kebutuhan besar untuk pelatihan dan pengembangan kapasitas guru.

Penelitian ini memiliki keterbatasan karena berbasis pada studi literatur tanpa uji lapangan, sehingga generalisasi temuan harus dilakukan dengan hati-hati. Selain itu, minimnya literatur yang secara khusus membahas penerapan teknologi digital dalam pendidikan fisika di Indonesia membatasi keluasan analisis kontekstual. Oleh karena itu, untuk penelitian masa depan, disarankan dilakukan studi kuasi-eksperimen di sekolah menengah atas untuk mengukur secara langsung dampak teknologi digital terhadap capaian kognitif siswa. Pengembangan modul interaktif berbasis MR juga menjadi langkah strategis dalam menghadirkan inovasi pembelajaran yang sesuai dengan karakteristik siswa Indonesia. Kolaborasi lintas bidang antara fisika, teknik informatika, dan psikologi pendidikan sangat dibutuhkan guna menciptakan media pembelajaran yang holistik dan kontekstual.

#### **4. KESIMPULAN DAN SARAN**

##### **Kesimpulan**

Berdasarkan analisis kualitatif terhadap studi literatur sistematis dalam artikel "*Transformasi Pendidikan Fisika Era Digital: Inovasi Teknologi AR, AI, dan Mixed Reality dalam Pembelajaran STEM*", dapat disimpulkan bahwa integrasi teknologi AR, AI, dan MR memberikan kontribusi transformatif dalam pembelajaran fisika dengan meningkatkan pemahaman konseptual, keterlibatan siswa, dan personalisasi materi ajar. Temuan ini memperkuat teori konstruktivisme dan kognitivisme melalui pengalaman belajar yang bersifat interaktif dan adaptif. Penggunaan AR terbukti meningkatkan pemahaman spasial siswa terhadap konsep abstrak hingga 30%, AI menyediakan pembelajaran berbasis data dan respons real-time, sedangkan MR memungkinkan simulasi kontekstual yang memperkaya pengalaman eksperimental. Dalam konteks sosial dan budaya, adopsi teknologi ini dapat mempersempit

kesenjangan pendidikan melalui pembelajaran yang lebih inklusif, meski tantangan seperti keterbatasan infrastruktur, rendahnya literasi digital, dan kesiapan guru masih menjadi hambatan utama. Artikel ini berkontribusi penting terhadap pengembangan kurikulum STEM yang lebih relevan dengan tuntutan era digital, dan secara akademik menambah khazanah literatur pedagogi teknologi di Indonesia. Namun, sebagai studi literatur, penelitian ini memiliki keterbatasan dalam hal tidak adanya data primer dan konteks empiris yang spesifik. Oleh karena itu, penelitian eksperimental di lapangan dan pengembangan media pembelajaran berbasis AR/MR yang dikontekstualisasikan dengan kebutuhan lokal sangat direkomendasikan sebagai langkah lanjutan.

## **Saran**

Berdasarkan temuan penelitian ini, disarankan agar para praktisi pendidikan mulai mengintegrasikan teknologi seperti AR, AI, dan Mixed Reality dalam proses pembelajaran fisika untuk menciptakan pengalaman belajar yang lebih imersif dan adaptif. Akademisi dapat memanfaatkan hasil studi ini sebagai dasar pengembangan kurikulum yang mendukung pendekatan interdisipliner dalam pendidikan STEM serta sebagai pijakan dalam merancang pelatihan guru berbasis teknologi. Bagi pemangku kebijakan, penting untuk menyediakan infrastruktur digital yang merata serta program pelatihan kompetensi digital bagi guru di seluruh wilayah Indonesia. Untuk pengembangan penelitian selanjutnya, disarankan dilakukan eksplorasi lebih mendalam dengan pendekatan kuasi-eksperimen atau mixed methods untuk menguji dampak empiris teknologi digital terhadap hasil belajar siswa. Penelitian juga sebaiknya memperluas cakupan ke aspek sosial, emosional, dan budaya dalam pembelajaran berbasis teknologi serta menggunakan triangulasi data untuk meningkatkan validitas dan kekayaan analisis. Dengan demikian, hasil penelitian ini tidak hanya memberikan pemahaman konseptual, tetapi juga dapat diterapkan secara luas dalam upaya transformasi pendidikan fisika yang inklusif dan kontekstual.

## **DAFTAR PUSTAKA**

Allcoat, D., Hatchard, T., Azmat, F., Stansfield, K., Watson, D., & von Mühlennen, A. (2021). Education in the digital age: Learning experience in virtual and mixed realities. *Journal*

- of *Educational Computing Research*, 59(5), 795–816.  
<https://doi.org/10.1177/0735633120985120>
- Chng, E., Tan, A. L., & Tan, S. C. (2023). Examining the use of emerging technologies in schools: A review of artificial intelligence and immersive technologies in STEM education. *Journal for STEM Education Research*, 6(3), 385–407.
- 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 Information Systems*, 4(1), 14–25.
- Freeman, S., et al. (2014). Active learning increases student performance in science, engineering, and mathematics. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 111(23), 8410–8415. <https://doi.org/10.1073/pnas.1319030111>
- Hidayat, W., Wahid, M. S. N., & Fauziah, F. (2024). Analisis Efektivitas Mixed-Mode Learning dalam Menjawab Tantangan Era Metaverse. *Jurnal MediaTIK*. <https://journal.unm.ac.id/index.php/MediaTIK/article/view/2189>
- Keengwe, J., Onchwari, G., & Wachira, P. (2008). The use of computer tools to support meaningful learning. *AACE Journal*, 16(1), 77–92.
- Kumar, K. S., Tamil Selvan, D. M., Kalaiyarasan, G., Ramnath, R., & Mahendraprabu, M. (2023). Examining the Role of Virtual Reality, Augmented Reality, and Artificial Intelligence in Adapting STEM Education for Next-Generation Inclusion. *International Journal of Emerging Knowledge Studies*, 2(12), 876–882. <https://doi.org/10.70333/ijeks-02-12-025>
- Moher, D., Liberati, A., Tetzlaff, J., Altman, D.G., & The PRISMA Group. (2009). Preferred reporting items for systematic reviews and meta-analyses: The PRISMA statement. *PLoS Med*, 6(7), e1000097.
- Ouyang, F., & Jiao, P. (2021). Artificial intelligence in education: Three paradigms of learning. *British Journal of Educational Technology*, 52(6), 1770–1789.
- Page, M.J., McKenzie, J.E., Bossuyt, P.M., Boutron, I., Hoffmann, T.C., Mulrow, C.D., ... & Moher, D. (2021). The PRISMA 2020 statement: An updated guideline for reporting systematic reviews. *BMJ*, 372, n71.
- Pelletier, K., Brown, M., Brooks, D., McCormack, M., & Reeves, J. (2022). *EDUCAUSE Horizon Report: Teaching and Learning Edition*. EDUCAUSE.
- Piaget, J. (1970). *Science of education and the psychology of the child*. New York: Viking
- Rogers, E. M. (2000). *Diffusion of innovations* (5th ed.). New York: Free Press.
- Snyder, H. (2019). Literature review as a research methodology: An overview and guidelines. *Journal of Business Research*, 104, 333–339.
- Suartama, I. K. (2025). Pemanfaatan AI untuk Mengarahkan dan Memberdayakan AI-Empowered Learning. *ResearchGate*. <https://www.researchgate.net/publication/391231040>

Vygotsky, L. S. (1978). *Mind in society: The development of higher psychological processes*. Harvard University Press.

Yusuf, M. (2023). Inovasi Pendidikan Abad-21: Perspektif, Tantangan, dan Praktik Terkini. *IAIN Palopo*.  
<http://repository.iainpalopo.ac.id/id/eprint/6969/1/Inovasi%20Pendidikan%20oleh%20Dr.%20Munir%20Yusuf%20C%20M.Pd..pdf>

Zubaidah, S. (2019). Pendidikan Biologi dalam Perkembangan Revolusi Industri 4.0. *ResearchGate*. <https://www.researchgate.net/publication/338252601>