

INTEGRASI TEKNOLOGI DALAM PEMBELAJARAN: KAJIAN PEDAGOGI UNTUK MENGEMBANGKAN KEMAMPUAN BERPIKIR KRITIS

Ade Syarifudin¹, Nurdin², Sururi³, Ady Akbar⁴

^{1,2,3,4}Universitas Pendidikan Indonesia

⁴Universitas Sawerigading Makassar

[¹adesyarifudin17@upi.edu](mailto:adesyarifudin17@upi.edu)

[²nurdin_adpen@upi.edu](mailto:nurdin_adpen@upi.edu)

[³Sururi@upi.edu](mailto:Sururi@upi.edu)

[⁴adyakbar09@gmail.com](mailto:adyakbar09@gmail.com)

ABSTRACT

The integration of technology in learning has increasingly developed as an instructional strategy that supports the mastery of 21st-century skills, particularly critical thinking skills. Although research on the use of educational technology continues to grow, there remains a need for studies that synthesize how technology is pedagogically integrated to develop learners' critical thinking skills. This study aims to conduct a systematic review of research examining strategies for integrating technology in learning to enhance critical thinking skills. The method employed is a systematic review guided by the Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses (PRISMA). Articles were retrieved from the Scopus, Web of Science, and Google Scholar databases, covering publications from 2020 to 2025. Through a rigorous selection process, 12 articles met the inclusion criteria and were qualitatively analyzed. The findings indicate that technology integration is effective in fostering critical thinking skills when implemented through pedagogically structured learning activities, such as problem-based learning, inquiry-based learning, collaboration, and reflection. Technologies that support visualization, simulation, interaction, and discussion encourage learners to engage in higher-order cognitive processes, including analysis, evaluation, and decision-making. However, the effectiveness of technology integration is strongly influenced by instructional design, the role of educators, and the implementation context. This review emphasizes that technology does not automatically enhance critical thinking skills but requires appropriate pedagogical integration to achieve meaningful learning outcomes.

Keywords: Learning technology, Critical thinking, Systematic review.

ABSTRAK

Integrasi teknologi dalam pembelajaran semakin berkembang sebagai strategi pembelajaran yang mendukung penguasaan keterampilan abad ke-21, khususnya kemampuan berpikir kritis. Meskipun penelitian mengenai pemanfaatan teknologi pendidikan terus meningkat, masih diperlukan kajian yang mampu mensintesis bagaimana teknologi diintegrasikan secara pedagogis untuk mengembangkan kemampuan berpikir kritis peserta didik. Penelitian ini bertujuan untuk melakukan tinjauan sistematis terhadap penelitian-penelitian yang membahas strategi integrasi teknologi dalam pembelajaran guna meningkatkan kemampuan berpikir kritis. Metode yang digunakan adalah systematic review dengan mengacu pada pedoman Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses (PRISMA). Artikel diperoleh dari basis data Scopus, Web of Science, dan Google Scholar dengan rentang publikasi tahun 2020 hingga 2025. Melalui proses seleksi yang ketat, sebanyak 12 artikel dinyatakan memenuhi kriteria inklusi dan dianalisis secara kualitatif. Hasil kajian menunjukkan bahwa integrasi teknologi efektif dalam mengembangkan kemampuan berpikir kritis apabila diterapkan melalui aktivitas pembelajaran yang terstruktur secara pedagogis, seperti pembelajaran berbasis masalah, inkuiri, kolaborasi, dan refleksi. Teknologi yang mendukung visualisasi, simulasi, interaksi, dan diskusi mendorong peserta didik untuk terlibat dalam proses kognitif tingkat tinggi, termasuk analisis, evaluasi, dan pengambilan keputusan. Namun, efektivitas integrasi teknologi sangat dipengaruhi oleh desain pembelajaran, peran pendidik, dan konteks implementasi. Kajian ini menegaskan bahwa teknologi tidak secara otomatis meningkatkan kemampuan berpikir kritis, melainkan memerlukan integrasi pedagogis yang tepat untuk menghasilkan pembelajaran yang bermakna.

Kata Kunci: Teknologi pembelajaran, Berpikir kritis, Tinjauan sistematis

A. Pendahuluan

Perkembangan teknologi digital telah membawa transformasi signifikan dalam dunia pendidikan dan mendorong perubahan paradigma pembelajaran dari yang berpusat pada pendidik menuju pembelajaran yang lebih aktif dan berorientasi pada peserta didik (Akbar et al., 2025; Hwang & Tu, 2021). Integrasi

teknologi dalam pembelajaran kini dipandang sebagai salah satu strategi penting untuk meningkatkan kualitas proses belajar serta menyiapkan peserta didik menghadapi tuntutan abad ke-21 (Akçayır & Akçayır, 2017; Trilling & Fadel, 2009). Dalam konteks tersebut, pendidikan tidak hanya bertujuan untuk mentransfer pengetahuan, tetapi juga untuk

mengembangkan keterampilan berpikir tingkat tinggi yang memungkinkan peserta didik memahami, mengevaluasi, dan menggunakan informasi secara kritis (Mukti et al., 2025). Kemampuan berpikir kritis merupakan salah satu kompetensi kunci yang sangat dibutuhkan dalam menghadapi kompleksitas permasalahan global yang semakin dinamis (Martyanti & Suhartini, 2018). Peserta didik yang memiliki kemampuan berpikir kritis mampu menganalisis masalah secara mendalam, mengevaluasi berbagai alternatif solusi, menyusun argumen yang logis, serta mengambil keputusan berdasarkan bukti yang relevan (Watson & Glaser, 2012). Oleh karena itu, pengembangan kemampuan berpikir kritis perlu difasilitasi melalui strategi pembelajaran yang mendorong keterlibatan kognitif aktif, refleksi, dan pemecahan masalah secara bermakna (Sabaryati et al., 2025). Namun, praktik pembelajaran konvensional yang masih dominan di berbagai konteks pendidikan sering kali kurang memberikan ruang bagi peserta didik untuk mengembangkan kemampuan berpikir kritis secara optimal (Akbar et al., 2023). Seiring

dengan kemajuan teknologi, berbagai bentuk teknologi pembelajaran telah dimanfaatkan untuk mendukung proses pembelajaran yang lebih interaktif dan kontekstual (Mutakinati et al., 2018). Teknologi memungkinkan penyajian materi secara visual dan dinamis, memfasilitasi eksplorasi konsep, serta mendukung kolaborasi dan diskusi antarpeserta didik. Sejumlah penelitian melaporkan bahwa penggunaan teknologi dalam pembelajaran dapat meningkatkan keterlibatan belajar dan berkontribusi positif terhadap pengembangan kemampuan berpikir kritis (Astuti et al., 2019; Hanggara et al., 2024). Meskipun demikian, temuan tersebut belum sepenuhnya memberikan pemahaman yang komprehensif mengenai peran teknologi dalam memfasilitasi proses berpikir kritis.

Banyak penelitian yang mengkaji penggunaan teknologi dalam pembelajaran cenderung menekankan pada efektivitas hasil belajar atau perbandingan antara pembelajaran berbasis teknologi dan pembelajaran konvensional (MacCallum & Parsons, 2022). Namun, kajian-kajian tersebut sering kali belum menguraikan secara jelas

bagaimana teknologi diintegrasikan dalam desain pembelajaran serta mekanisme pedagogis yang memungkinkan terjadinya peningkatan kemampuan berpikir kritis. Teknologi kerap diposisikan sebagai alat atau media pembelajaran, sementara aspek-aspek pedagogis seperti desain tugas, pola interaksi, peran pendidik, dan aktivitas kognitif peserta didik yang dimediasi oleh teknologi kurang dianalisis secara mendalam (Lai & Cheong, 2022). Kondisi ini menyebabkan kesenjangan antara temuan empiris dan praktik pembelajaran, sehingga pendidik menghadapi kesulitan dalam menerapkan hasil penelitian secara efektif di kelas (Wardat et al., 2023).

Selain itu, meningkatnya jumlah penelitian mengenai teknologi pembelajaran dalam beberapa tahun terakhir menunjukkan perlunya upaya sintesis yang sistematis untuk mengidentifikasi pola-pola strategi integrasi teknologi yang efektif. Tanpa adanya kajian yang terstruktur, pemahaman mengenai praktik terbaik dalam mengintegrasikan teknologi untuk mengembangkan kemampuan berpikir kritis masih bersifat parsial dan terfragmentasi. Oleh karena itu,

diperlukan suatu tinjauan sistematis yang tidak hanya menginventarisasi jenis teknologi yang digunakan, tetapi juga menganalisis strategi pedagogis yang menyertainya serta kontribusinya terhadap proses berpikir kritis peserta didik.

Berdasarkan latar belakang tersebut, penelitian ini bertujuan untuk melakukan tinjauan sistematis terhadap artikel-artikel penelitian yang membahas strategi integrasi teknologi dalam pembelajaran untuk mengembangkan kemampuan berpikir kritis. Kebaruan kajian ini terletak pada fokus analisis terhadap cara penggunaan dan integrasi teknologi secara pedagogis, bukan semata-mata pada efektivitas teknologi atau jenis teknologi yang digunakan. Dengan mensintesis temuan-temuan penelitian secara sistematis, kajian ini diharapkan dapat memberikan pemahaman yang lebih mendalam mengenai bagaimana teknologi dapat dirancang dan dimanfaatkan secara pedagogis untuk mendukung pengembangan kemampuan berpikir kritis, serta memberikan implikasi praktis bagi pendidik dan peneliti dalam merancang pembelajaran berbasis teknologi yang bermakna.

B. Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan *systematic review* untuk menganalisis secara komprehensif strategi integrasi teknologi dalam pembelajaran yang berkontribusi terhadap pengembangan kemampuan berpikir kritis peserta didik. Kajian ini dilakukan dengan mengacu pada pedoman Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses (PRISMA) guna memastikan proses penelusuran, seleksi, dan pelaporan artikel berlangsung secara sistematis dan transparan.

Penelusuran literatur dilakukan pada tiga basis data ilmiah bereputasi, yaitu Scopus, Web of Science, dan Google Scholar, dengan menggunakan kombinasi kata kunci yang berkaitan dengan integrasi teknologi, pembelajaran, dan kemampuan berpikir kritis. Penelusuran dibatasi pada artikel yang dipublikasikan dalam rentang tahun 2020 hingga 2025 untuk memperoleh temuan penelitian yang relevan dan mutakhir. Artikel yang disertakan dalam kajian ini merupakan penelitian empiris yang membahas penggunaan teknologi dalam konteks pembelajaran serta melaporkan

indikator atau pengukuran kemampuan berpikir kritis. Artikel berupa prosiding, editorial, atau kajian konseptual tanpa data empiris dikecualikan dari analisis. Proses seleksi artikel dilakukan melalui beberapa tahap, dimulai dari identifikasi artikel awal, penyaringan judul dan abstrak, hingga penelaahan teks lengkap berdasarkan kriteria inklusi dan eksklusi yang telah ditetapkan. Dari sejumlah artikel yang teridentifikasi, hanya artikel yang memenuhi seluruh kriteria yang dianalisis lebih lanjut. Analisis data dilakukan secara kualitatif dengan pendekatan sintesis tematik untuk mengidentifikasi jenis teknologi yang digunakan, cara teknologi diintegrasikan dalam pembelajaran, pendekatan pedagogis yang menyertainya, serta kontribusinya terhadap pengembangan kemampuan berpikir kritis. Temuan dari masing-masing studi kemudian dibandingkan dan dikelompokkan ke dalam tema-tema utama guna mengungkap pola strategi integrasi teknologi yang efektif. Keabsahan kajian dijaga melalui penerapan prosedur seleksi dan analisis yang konsisten serta penggunaan pedoman PRISMA, sehingga hasil penelitian ini

dapat dipertanggungjawabkan secara metodologis.

C. Hasil dan Pembahasan

Berdasarkan proses penelusuran dan seleksi artikel sesuai dengan pedoman PRISMA, diperoleh sebanyak 50 artikel yang relevan pada tahap identifikasi awal. Setelah dilakukan penyaringan judul dan abstrak serta penelaahan teks lengkap berdasarkan kriteria inklusi dan eksklusi, sebanyak 12 artikel dinyatakan memenuhi syarat untuk dianalisis lebih lanjut. Artikel-artikel tersebut berasal dari berbagai konteks.

Hasil kajian menunjukkan bahwa pendekatan pembelajaran berbasis teknologi secara umum memberikan dampak yang lebih positif terhadap kemampuan berpikir kritis dibandingkan pembelajaran konvensional. Sebagaimana ditunjukkan oleh Sari dkk. (2024) bahwa pembelajaran masih didominasi metode ceramah dan buku teks menghasilkan tingkat keterlibatan dan kemampuan bernalar kritis yang lebih rendah dibandingkan pembelajaran yang memanfaatkan media audio-visual dan video animasi.

Temuan ini sejalan dengan penelitian Mahmudah dkk (2022) yang menunjukkan bahwa penggunaan e-modul berbasis problem-based learning lebih efektif dalam melatih berpikir kritis dibandingkan pembelajaran tanpa dukungan bahan ajar digital yang interaktif.

Tabel 1. Tinjauan metodologis dari studi-studi yang ditelaah

Penulis	Teknologi	Metode Riset	Level
Ayu & Rusnilawati, (2022)	Animasi Audio Visual	Eksperimen	SD
Hanggara dkk. (2024)	AR berbasis game	Eksperimen	SD
Akbar dkk. (2025)	AR	Eksperimen	SD
AINajdi (2022)	AR berbasis QR	Eksperimen	SMP
Koparan dkk. (2023)	AR	R&D	SMP
Mahmudah dkk. (2022)	E-Modul	Studi kasus	SD
Al-said dkk. (2024)	VR	Eksperimen	Universtas
Shen & Feng, (2024)	AI	Longitudinal korelasional	Universtas
Sari dkk., (2024)	Video Animasi	R&D	SD
Li & Bertrand, (2025)	AI	Studi Kasus	SMP
Wardat dkk. (2023)	AI	Studi Kasus	SMP/ SMA
Cahyono dkk. (2024)	AR	Eksperimen	SMA

Jika dibandingkan berdasarkan jenis teknologi, penelitian yang mengintegrasikan teknologi imersif seperti Augmented Reality (AR) dan Virtual Reality (VR) menunjukkan peningkatan berpikir kritis yang lebih signifikan dibandingkan penggunaan media digital non-immersif. Pada konteks yang lain, siswa yang belajar dengan game berbasis AR menunjukkan kemampuan berpikir kritis yang lebih tinggi dibandingkan kelompok kontrol yang menggunakan metode tradisional (Akbar et al., 2025; Hanggara et al., 2024). Sebaliknya, meskipun media audio-visual dan e-modul digital juga berdampak positif, peningkatan yang dihasilkan cenderung lebih moderat dan sangat bergantung pada model pembelajaran yang menyertainya.

Dari sisi indikator berpikir kritis, hasil penelitian menunjukkan perbedaan yang cukup mencolok. Akbar dkk. (2025) menemukan bahwa meskipun skor berpikir kritis secara keseluruhan lebih tinggi pada kelompok berbantuan AR dibandingkan kelompok konvensional, indikator evaluasi dan inferensi tetap rendah pada kedua kelompok. Temuan ini berbeda dengan hasil penelitian Hanggara dkk. (2024) yang

menunjukkan peningkatan yang lebih merata pada indikator berpikir kritis, kemungkinan karena pendekatan game-based learning memberikan lebih banyak kesempatan bagi siswa untuk menganalisis dan mengambil keputusan. Perbandingan ini menunjukkan bahwa keberhasilan pengembangan berpikir kritis tidak hanya ditentukan oleh jenis teknologi, tetapi juga oleh desain aktivitas belajar yang menyertainya.

Apabila ditinjau dari jenjang pendidikan, penelitian pada pendidikan dasar cenderung menekankan peningkatan keterlibatan dan pemahaman konseptual, sementara penelitian pada jenjang yang lebih tinggi mulai mengkaji aspek regulasi diri dan metakognisi. Hal ini terlihat dari perbandingan antara studi pada siswa sekolah dasar dan menengah dengan penelitian oleh Shen dan Feng (2024) pada pembelajar EFL, yang tidak hanya menyoroti peningkatan keterampilan menulis berbantuan AI, tetapi juga hubungan temporal antara berpikir kritis dan self-directed learning. Dengan demikian, dibandingkan penelitian pada jenjang dasar yang berfokus pada hasil belajar langsung, penelitian pada jenjang lanjut

memberikan pemahaman yang lebih mendalam mengenai proses kognitif yang mendasari penggunaan teknologi.

Dari perspektif metodologis, sebagian besar penelitian menggunakan desain eksperimen atau quasi-eksperimen untuk membandingkan kelompok perlakuan dan kontrol, sehingga mampu menunjukkan perbedaan hasil belajar secara kuantitatif. Namun, dibandingkan dengan penelitian-penelitian tersebut, studi longitudinal yang mengkaji hubungan antarvariabel dari waktu ke waktu masih relatif terbatas. Akibatnya, meskipun efektivitas teknologi terhadap berpikir kritis telah banyak dibuktikan, pemahaman tentang bagaimana dan mengapa peningkatan tersebut terjadi masih belum sepenuhnya terjelaskan.

Perbandingan lintas penelitian menunjukkan bahwa integrasi teknologi yang dipadukan dengan model pembelajaran aktif dan berorientasi masalah memberikan hasil yang lebih konsisten dalam meningkatkan kemampuan berpikir kritis dibandingkan penggunaan teknologi sebagai media penyampai informasi semata. Temuan ini

menegaskan bahwa kebaruan kajian ini terletak pada sintesis komparatif yang menyoroti perbedaan efektivitas antarjenis teknologi, pendekatan pedagogis, dan indikator berpikir kritis, serta mengungkap kebutuhan akan desain pembelajaran yang lebih terintegrasi dan berkelanjutan.

Hasil sintesis menunjukkan bahwa peningkatan kemampuan berpikir kritis tidak semata-mata dipengaruhi oleh jenis teknologi yang digunakan, melainkan oleh cara teknologi tersebut diintegrasikan dalam pembelajaran (Putri et al., 2023). Sebagian besar studi yang dianalisis melaporkan bahwa teknologi efektif ketika digunakan sebagai sarana untuk memfasilitasi aktivitas kognitif tingkat tinggi, seperti analisis masalah, evaluasi informasi, dan pengambilan keputusan. Teknologi yang menyediakan visualisasi, simulasi, atau lingkungan interaktif memungkinkan peserta didik untuk mengeksplorasi konsep secara lebih mendalam dan menguji berbagai alternatif solusi, sehingga mendorong proses berpikir kritis (Demitriadou et al., 2020).

Selain itu, temuan kajian menunjukkan bahwa integrasi teknologi yang dikombinasikan

dengan pendekatan pedagogis tertentu, seperti pembelajaran berbasis masalah, inkuiri, dan pembelajaran kolaboratif, memiliki kontribusi yang lebih signifikan terhadap pengembangan kemampuan berpikir kritis. Dalam studi-studi tersebut, teknologi berperan sebagai fasilitator yang mendukung peserta didik dalam mengidentifikasi masalah, merumuskan hipotesis, menganalisis data, serta merefleksikan hasil pembelajaran (Mukarromah & Sartono, 2018). Sebaliknya, penelitian yang menggunakan teknologi secara terbatas sebagai media presentasi atau penyampaian informasi menunjukkan dampak yang relatif minimal terhadap kemampuan berpikir kritis.

Perbandingan antar temuan studi juga mengungkapkan bahwa peran pendidik menjadi faktor kunci dalam keberhasilan integrasi teknologi. Studi-studi yang melaporkan peningkatan signifikan dalam kemampuan berpikir kritis umumnya menekankan pentingnya peran pendidik dalam merancang aktivitas pembelajaran, memberikan pertanyaan pemantik, serta memfasilitasi diskusi dan refleksi.

Teknologi yang digunakan tanpa arahan pedagogis yang jelas cenderung tidak mampu mengoptimalkan keterlibatan kognitif peserta didik. Hal ini menunjukkan bahwa teknologi perlu diposisikan sebagai alat pendukung dalam strategi pembelajaran, bukan sebagai pengganti peran pendidik.

Di sisi lain, beberapa studi juga mengidentifikasi tantangan dalam penerapan teknologi untuk mengembangkan kemampuan berpikir kritis. Tantangan tersebut meliputi keterbatasan kesiapan pendidik dalam merancang pembelajaran berbasis teknologi, rendahnya literasi digital peserta didik, serta keterbatasan infrastruktur (Mutohhari et al., 2021). Selain itu, terdapat studi yang melaporkan bahwa tanpa desain tugas yang menuntut pemikiran reflektif dan analitis, peserta didik cenderung berfokus pada aspek teknis penggunaan teknologi, bukan pada proses berpikir kritis yang diharapkan (Kasneci et al., 2023). Temuan ini memperkuat argumen bahwa efektivitas teknologi sangat bergantung pada kualitas desain pembelajaran.

E. Kesimpulan

Berdasarkan hasil sintesis dan perbandingan lintas penelitian, dapat disimpulkan bahwa integrasi teknologi dalam pembelajaran secara konsisten memberikan hasil yang lebih baik dalam mengembangkan kemampuan berpikir kritis dibandingkan pembelajaran konvensional. Namun, tingkat efektivitasnya berbeda-beda bergantung pada jenis teknologi yang digunakan, model pembelajaran yang menyertainya, serta indikator berpikir kritis yang ditargetkan. Teknologi yang dipadukan dengan pendekatan pedagogis aktif, seperti discovery learning, problem-based learning, dan game-based learning, terbukti lebih unggul dibandingkan penggunaan teknologi sebagai media penyampai informasi semata.

Lebih lanjut, teknologi imersif seperti Augmented Reality dan Virtual Reality menunjukkan dampak yang relatif lebih kuat dalam meningkatkan keterlibatan kognitif dan pemahaman konseptual dibandingkan media digital non-immersif. Meskipun demikian, tidak semua dimensi berpikir kritis berkembang secara seimbang, karena beberapa indikator tingkat tinggi, khususnya evaluasi dan inferensi, masih cenderung rendah.

Temuan ini menunjukkan bahwa penggunaan teknologi perlu disertai dengan desain instruksional yang secara eksplisit menargetkan seluruh aspek berpikir kritis.

Selain itu, perbedaan jenjang pendidikan dan pendekatan metodologis turut memengaruhi hasil penelitian. Penelitian pada jenjang dasar dan menengah umumnya menekankan peningkatan hasil belajar langsung, sedangkan penelitian pada jenjang yang lebih tinggi mulai mengungkap peran penting regulasi diri dan metakognisi dalam pemanfaatan teknologi, terutama pada penggunaan kecerdasan buatan. Oleh karena itu, keberhasilan integrasi teknologi tidak hanya ditentukan oleh kecanggihan media, tetapi juga oleh kesiapan kognitif dan kemandirian belajar peserta didik.

Secara keseluruhan, kajian ini menegaskan bahwa pengembangan kemampuan berpikir kritis melalui teknologi memerlukan keselarasan antara teknologi, pedagogi, tujuan pembelajaran, dan asesmen. Simpulan ini memberikan implikasi bahwa penelitian dan praktik pembelajaran ke depan perlu berfokus pada perancangan integrasi teknologi

yang lebih sistematis, berkelanjutan, dan berorientasi pada pengembangan seluruh dimensi berpikir kritis.

DAFTAR PUSTAKA

- Akbar, A., Herman, T., & Suryadi, D. (2023). Culture-Based Discovery Learning and its Impact on Mathematical Critical Thinking Skills. *Jurnal Ilmiah Sekolah Dasar*, 7(3), 436–443. <https://doi.org/10.23887/jisd.v7i3.59921>
- Akbar, A., Herman, T., Suryadi, D., Putra, E. D., & Blegur, J. (2025). Integrating Augmented Reality in Mathematics Learning to Improve Critical Thinking Skills of Elementary School Students. 9(2), 764–779.
- Akçayır, M., & Akçayır, G. (2017). Advantages and challenges associated with augmented reality for education: A systematic review of the literature. *Educational Research Review*, 20, 1–11. <https://doi.org/10.1016/j.edurev.2016.11.002>
- Al-said, K., Berestova, A., Ismailova, N., & Pronkin, N. (2024). The impact of video-based virtual reality training on critical thinking and cognitive load. 13(5), 3239–3247. <https://doi.org/10.11591/ijere.v13i5.28109>
- AlNajdi, S. M. (2022). The effectiveness of using augmented reality (AR) to enhance student performance: using quick response (QR) codes in student textbooks in the Saudi education system. *Educational Technology Research and Development*, 70(3), 1105–1124. <https://doi.org/10.1007/s11423-022-10100-4>
- Astuti, A. P., Aziz, A., Sumarti, S. S., & Bharati, D. A. L. (2019). Preparing 21st Century Teachers: Implementation of 4C Character's Pre-Service Teacher through Teaching Practice. *Journal of Physics: Conference Series*, 1233(1), 1–8. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1233/1/012109>
- Ayu, N., & Rusnilawati, R. (2022). Discovery Learning Assisted by Animation Audio Visual Media Optimizes Problem Solving Ability and Students' Independent Attitude. *Jurnal Ilmiah Sekolah Dasar*, 6(3), 516–524. <https://doi.org/10.23887/jisd.v6i3.53394>
- Cahyono, B. T., Qodr, T. S., & Budiarto, M. K. (2024). Improving the Critical Thinking Ability of Vocational High School Students through Digital Teaching Material. *Journal of Education Research and Evaluation*, 8(1), 143–153. <https://doi.org/10.23887/jere.v8i1.61457>
- Demitriadou, E., Stavroulia, K. E., & Lanitis, A. (2020). Comparative evaluation of virtual and augmented reality for teaching mathematics in primary education. *Education and Information Technologies*, 25(1), 381–401. <https://doi.org/10.1007/s10639-019-09973-5>
- Hanggara, Y., Qohar, A., & Sukoriyanto. (2024). The Impact of Augmented Reality-Based Mathematics Learning Games on Students' Critical Thinking Skills. *International Journal of Interactive Mobile Technologies (IJIM)*, 18(07), 173–187.

- <https://doi.org/10.3991/ijim.v18i07.48067>
- Hwang, G.-J., & Tu, Y.-F. (2021). Roles and Research Trends of Artificial Intelligence in Mathematics Education: A Bibliometric Mapping Analysis and Systematic Review. *Mathematics*, 9(6), 584. <https://doi.org/10.3390/math9060584>
- Kasneci, E., Sessler, K., Küchemann, S., Bannert, M., Dementieva, D., Fischer, F., Gasser, U., Groh, G., Günemann, S., Hüllermeier, E., Krusche, S., Kutyniok, G., Michaeli, T., Nerdel, C., Pfeffer, J., Poquet, O., Sailer, M., Schmidt, A., Seidel, T., ... Kasneci, G. (2023). ChatGPT for good? On opportunities and challenges of large language models for education. *Learning and Individual Differences*, 103(January). <https://doi.org/10.1016/j.lindif.2023.102274>
- Koparan, T., Dinar, H., Koparan, E. T., & Haldan, Z. S. (2023). Integrating augmented reality into mathematics teaching and learning and examining its effectiveness. *Thinking Skills and Creativity*, 47, 101245. <https://doi.org/10.1016/j.tsc.2023.101245>
- Lai, J. W., & Cheong, K. H. (2022). Adoption of Virtual and Augmented Reality for Mathematics Education: A Scoping Review. *IEEE Access*, 10(January), 13693–13703. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2022.3145991>
- Li, L., & Bertrand, M. (2026). *Fostering critical thinkers and future designers: Design fiction pedagogy in AI education*. 59(October 2024).
- <https://doi.org/10.1016/j.tsc.2025.101962>
- MacCallum, K., & Parsons, D. (2022). Integrating Mobile Mixed Reality to Enhance Learning Before, During, and After Physical Field Trips. *International Journal of Mobile and Blended Learning*, 14(2), 1–11. <https://doi.org/10.4018/IJMBL.304456>
- Mahmudah, S., Kirana, T., Noer, M. S., & Rahayu, Y. S. (2022). Profile of Students ' Critical Thinking Ability: Implementation of E-Modul Based On Problem-Based Learning. *International Journal of Recent Educational Research*, 3(4), 478–488. <https://doi.org/https://doi.org/10.46245/ijorer.v5i3.595>
- Martyanti, A., & Suhartini, S. (2018). Etnomatematika: Menumbuhkan Kemampuan Berpikir Kritis Melalui Budaya dan Matematika. *IndoMath: Indonesian Mathematics Education*, 1(1), 35–41. <https://doi.org/https://doi.org/10.30738/indomath.v1i1.2212>
- Mukarromah, A., & Sartono, E. K. . (2018). Analisis Kemampuan Berpikir Kritis pada Model Discovery Learning Berdasarkan Pembelajaran Tematik. *Indonesian Journal of Primary Education*, 2(1), 38–47. <https://doi.org/https://doi.org/10.17509/ijpe.v2i1.11844>
- Mukti, A. P., Wicaksana, M. F., & Pardyatmoko, P. (2025). Model Pembelajaran Literasi Kritis dalam Pembelajaran Bahasa Indonesia: Studi Kasus di Sekolah Menengah Kejuruan. *BAHASA: Jurnal Keilmuan Pendidikan Bahasa Dan Sastra Indonesia*, 7(2), 483–490.
- Mutakinati, L., Anwari, I., & Yoshisuke,

- K. (2018). Analysis of students' critical thinking skill of middle school through stem education project-based learning. *Jurnal Pendidikan IPA Indonesia*, 7(1), 54–65.
<https://doi.org/10.15294/jpii.v7i1.10495>
- Mutohhari, F., Sutiman, S., Nurtanto, M., Kholifah, N., & Samsudin, A. (2021). Difficulties in implementing 21st century skills competence in vocational education learning. *International Journal of Evaluation and Research in Education*, 10(4), 1229–1236.
<https://doi.org/10.11591/ijere.v10i4.22028>
- Putri, A. S., Prasetyo, Z. K., Purwastuti, L. A., Prodjosantoso, A. K., & Putranta, H. (2023). Effectiveness of STEAM-based blended learning on students' critical and creative thinking skills. *International Journal of Evaluation and Research in Education (IJERE)*, 12(1), 44.
<https://doi.org/10.11591/ijere.v12i1.22506>
- Sabaryati, J., Akbar, A., & Sulestry, A. I. (2025). *Developing Pedagogical Innovation: AI-Based Deep Learning Training in Elementary Education*. 1(3), 1–7.
- Sari, M. E., Tegeh, I. M., Wayan, N., & Widiastini, E. (2024). *Developing Critical Thinking in Pancasila Education: The Impact of Animation-Based Video Media on Elementary Students*. 7(2), 207–216.
- Shen, X., & Feng, M. (2024). Three-wave cross-lagged model on the correlations between critical thinking skills , self-directed learning competency and AI-assisted writing. *Thinking Skills and Creativity*, 52(March), 101524.
<https://doi.org/10.1016/j.tsc.2024.101524>
- Trilling, B., & Fadel, C. (2009). *21ST Century Skills: Learning for Life in Our Times* (First Edition). Jossey-Bass A Wiley Imprint.
- Wardat, Y., Tashtoush, M. A., AlAli, R., & Jarrah, A. M. (2023). ChatGPT: A revolutionary tool for teaching and learning mathematics. *Eurasia Journal of Mathematics, Science and Technology Education*, 19(7).
<https://doi.org/10.29333/ejmste/13272>
- Watson, G., & Glaser, E. (2012). *Critical Thinking Appraisal User-Guide and Technical Manual*. Pearson Education.