



Transformation of Students' Scientific Reasoning Through Artificial Intelligence-Based Media in Physics Education: A Systematic Review of Empirical Studies (2020–2025)

Fiqih Akbari^{1*}, Musa Marsel Maipauw², Ronny Mugara³

¹Program Studi Manajemen Informatika, Politeknik Negeri Sambas, Indonesia
Jl. Sejangkung Desa, Sebayan, Kec. Sambas, Kabupaten Sambas, Kalimantan Bara.
e-mail: faipoltesa@gmail.com

²Program Studi Pendidikan Guru Sekolah Dasar, FKIP, Universitas Pattimura, Ambon, Indonesia
Universitas Contoh
Bandung, Indonesia
e-mail: musamaipauw@gmail.com

³IKIP Siliwangi, Indonesia
Universitas Contoh
Bandung, Indonesia
e-mail: ronnymugara@ikipsiliwangi.ac.id

DOI: <https://doi.org/10.52434/jpif.v5i2.43176>

Accepted: November 22, 2025 Approved: November 30, 2025 Published: December 4, 2025

ABSTRACT

This study aims to examine the transformation of students' scientific reasoning through the use of Artificial Intelligence (AI)-based media in science education. The method employed is a Systematic Literature Review (SLR), with a comprehensive literature search conducted in the Scopus database. This study reviews various articles that discuss the application of AI in science education, particularly focusing on its impact on students' scientific reasoning. The findings show that AI significantly contributes to enhancing students' abilities to analyze data, identify patterns, and understand complex scientific concepts. AI technologies, such as Graph Neural Networks (GNN) and generative AI models (VAE and GAN), enable students to conduct virtual experiments and simulations that accelerate their understanding of science content. Additionally, AI supports adaptive learning tailored to students' individual needs, allowing them to learn at their own pace. In conclusion, integrating AI into science education not only accelerates the learning process but also deepens students' scientific reasoning, equipping them with critical thinking skills necessary to tackle future challenges. The implications of this study suggest that AI can be an effective pedagogical tool in enriching students' learning experiences, and further exploration of its use in various educational contexts is essential.

Keywords: *Artificial Intelligence, Scientific Reasoning, Science Education, Virtual Simulations.*

Transformasi Pemikiran Ilmiah Siswa Melalui Media Berbasis Kecerdasan Buatan dalam Pendidikan Fisika: Tinjauan Sistematis dari Studi Empiris (2020–2025)

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji transformasi penalaran ilmiah siswa melalui pemanfaatan media berbasis *Artificial Intelligence* (AI) dalam pembelajaran sains. Metode yang digunakan adalah *Systematic Literature Review* (SLR), dengan melakukan pencarian literatur yang relevan dari *database Scopus*. Penelitian ini meninjau berbagai artikel yang membahas penerapan AI dalam pendidikan sains, khususnya yang berfokus pada dampaknya terhadap penalaran ilmiah siswa. Hasil penelitian menunjukkan bahwa AI berkontribusi signifikan dalam meningkatkan kemampuan siswa dalam menganalisis data, mengidentifikasi pola, dan memahami konsep-konsep ilmiah yang kompleks. Teknologi AI, seperti *Graph Neural Network* (GNN) dan AI generatif (VAE dan GAN), memungkinkan siswa untuk melakukan eksperimen virtual dan simulasi yang mempercepat pemahaman materi sains. Selain itu, AI mendukung pembelajaran adaptif yang disesuaikan dengan kebutuhan siswa, memungkinkan mereka untuk belajar dengan kecepatan mereka sendiri. Kesimpulannya, integrasi AI dalam pembelajaran sains tidak hanya mempercepat proses pembelajaran tetapi juga memperdalam penalaran ilmiah siswa, membekali mereka dengan keterampilan berpikir kritis yang diperlukan untuk menghadapi tantangan di masa depan. Implikasi dari penelitian ini menunjukkan bahwa AI dapat menjadi alat pendukung pedagogis yang efektif dalam memperkaya pengalaman belajar siswa, dan penting untuk terus mengeksplorasi pemanfaatannya dalam berbagai konteks pendidikan.

Kata kunci: *Artificial Intelligence*, Penalaran Ilmiah, Pembelajaran Sains, Simulasi Virtual.

PENDAHULUAN

Keterampilan penalaran ilmiah merupakan fondasi utama dalam pembelajaran sains karena memungkinkan siswa memahami fenomena alam secara sistematis, logis, dan berbasis bukti (Bao et al., 2022; Janoušková et al., 2023; Zakaria et al., 2025). Dalam konteks pendidikan modern, penalaran ilmiah tidak hanya melibatkan kemampuan mengamati, menginferensi, dan mengevaluasi, tetapi juga mengintegrasikan berbagai informasi untuk menghasilkan pemahaman konseptual yang mendalam (Ghafarollahi & Buehler, 2025b). Pembelajaran sains yang efektif menuntut siswa mampu berpikir kritis dan mengembangkan argumen berdasarkan data, sehingga penalaran ilmiah menjadi kompetensi esensial yang mempersiapkan mereka menghadapi tantangan abad ke-21.

Kehadiran *Artificial Intelligence* (AI) telah memberikan peluang baru untuk mendukung perkembangan penalaran ilmiah siswa. Beragam aplikasi AI kini mampu menyediakan simulasi ilmiah interaktif, analisis data otomatis, hingga umpan balik berbasis *machine learning* yang membantu siswa memahami konsep abstrak secara lebih konkret (Bernius et al., 2022; Stasolla et al., 2025; Zhai et al., 2022). Teknologi ini memungkinkan siswa melakukan eksplorasi ilmiah dengan cara yang sebelumnya sulit dilakukan dalam pembelajaran tradisional. AI juga dapat memfasilitasi proses berpikir tingkat tinggi melalui *scaffolding* otomatis yang menuntun siswa dalam mengajukan hipotesis, menguji gagasan, dan menarik kesimpulan (Alanazi et al., 2024; H.-Y. Lee et al., 2024; Saar et al., 2025).

Perkembangan AI dalam dunia pendidikan sendiri mengalami percepatan signifikan dalam beberapa tahun terakhir. Sistem pembelajaran adaptif, chatbot pembelajaran, tutor virtual, hingga platform analitik pembelajaran telah menjadi bagian dari ekosistem pendidikan digital (Henukh et al., 2025; Strielkowski et al., 2025). AI tidak hanya mengotomasi beberapa aspek administrasi pembelajaran, tetapi juga memperkaya pengalaman belajar melalui personalisasi materi, deteksi miskonsepsi, serta rekomendasi strategi belajar yang sesuai kebutuhan individu. Penerapan AI ini menggeser paradigma belajar dari model satu-ukuran-untuk-semua menuju pembelajaran yang lebih fleksibel, responsif, dan berbasis data (Jumabaeva, 2025; Strielkowski et al., 2025).

Dampak AI terhadap proses pembelajaran sangat terasa. AI mampu meningkatkan keterlibatan siswa, mempercepat pemahaman konsep, dan menyediakan ruang bagi guru untuk lebih fokus pada fasilitasi pemikiran kritis dan pengembangan penalaran ilmiah (Kotsis, 2025; Papaneophytou & Nicolaou, 2025). Dengan integrasi yang tepat, AI dapat berfungsi sebagai alat pendukung pedagogis yang memperkaya interaksi siswa dengan materi sains, mendorong proses inkuiri yang lebih mendalam, serta memperkuat proses pengambilan keputusan berbasis bukti (Pellas, 2025). Oleh karena itu, memahami bagaimana AI berkontribusi terhadap penalaran ilmiah sangat penting dalam merancang pembelajaran sains yang relevan dan inovatif di era digital.

Menganalisis transformasi penalaran ilmiah siswa melalui media berbasis AI menjadi penting karena teknologi ini tidak hanya mengubah cara siswa memperoleh informasi, tetapi juga memodifikasi cara mereka memproses, mengevaluasi, dan membangun pengetahuan ilmiah. Media berbasis AI mampu menghadirkan pengalaman belajar yang adaptif, interaktif, dan berbasis data, sehingga memungkinkan siswa berlatih menalar melalui simulasi, eksperimen virtual, serta umpan balik otomatis yang menstimulasi berpikir tingkat tinggi (Asrifan et al., 2025; Kassenkhan et al., 2025; Singh, 2024). Dengan memahami bagaimana AI mempengaruhi pola penalaran siswa, pendidik dapat merancang strategi pembelajaran yang lebih efektif, memastikan bahwa integrasi AI benar-benar memperkuat kemampuan berpikir ilmiah, bukan sekadar mempermudah akses informasi.

Penelitian-penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa pemanfaatan AI dalam pendidikan umumnya berfokus pada peningkatan hasil belajar (S. J. Lee & Kwon, 2024; Wu & Yu, 2024; Xu, 2024), personalisasi pembelajaran (Ayeni et al., 2024; Mahmoud & Sørensen, 2024), dan peningkatan motivasi belajar siswa (Alenezi, 2023; Chiu et al., 2024; Neji et al., 2023), baik melalui penggunaan tutor cerdas, sistem pembelajaran adaptif, maupun simulasi interaktif. Sejumlah studi juga telah mengkaji kemampuan berpikir kritis dan pemecahan masalah yang difasilitasi oleh media digital, termasuk AI, namun sebagian besar masih melihatnya dari sisi capaian kognitif umum, bukan secara spesifik pada proses transformasi penalaran ilmiah siswa (Muthmainnah et al., 2022). Selain itu, penelitian yang ada cenderung menitikberatkan pada efektivitas penggunaan AI sebagai alat bantu belajar (De la Vall & Araya, 2023; Fitria, 2021; Mayasari et al., 2024; Yim & Su, 2025), belum banyak yang mengupas secara mendalam bagaimana media berbasis AI mengubah cara siswa mengajukan hipotesis, mengolah bukti, dan menarik kesimpulan dalam konteks pembelajaran sains. Oleh karena itu, penelitian ini hadir untuk mengisi kekosongan tersebut dengan menganalisis secara lebih terarah dan sistematis transformasi penalaran ilmiah siswa melalui penggunaan media berbasis AI, sehingga memberikan kontribusi konseptual maupun praktis bagi pengembangan pembelajaran sains di era digital.

Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji secara sistematis bagaimana media berbasis *Artificial Intelligence* berperan dalam mentransformasi penalaran ilmiah siswa dalam pembelajaran sains. Secara khusus, penelitian ini diarahkan untuk mengidentifikasi bentuk-bentuk perubahan penalaran ilmiah yang muncul melalui penggunaan media berbasis AI, serta menganalisis mekanisme pedagogis dan teknologi yang memungkinkan terjadinya transformasi tersebut. Untuk mengarahkan penelitian ini digunakan pertanyaan penelitian sebagai berikut.

RQ 1 : Bagaimana media berbasis *Artificial Intelligence* berkontribusi terhadap transformasi penalaran ilmiah siswa dalam pembelajaran sains berdasarkan temuan penelitian terdahulu?

RQ 2 : Mekanisme pedagogis dan teknologi apa saja yang mendorong terjadinya perubahan penalaran ilmiah siswa melalui pemanfaatan media berbasis *Artificial Intelligence*?

METODE PENELITIAN

Metode penelitian ini menggunakan pendekatan tinjauan sistematis untuk mengevaluasi transformasi penalaran ilmiah siswa melalui media berbasis *Artificial Intelligence* (AI). Pendekatan sistematis dipilih untuk memastikan analisis yang menyeluruh dan terstruktur dari berbagai penelitian yang relevan. Langkah pertama dalam penelitian ini adalah melakukan pencarian literatur yang komprehensif melalui basis data Scopus, dengan fokus pada artikel-artikel yang membahas penerapan media berbasis AI dalam pembelajaran sains dan dampaknya terhadap penalaran ilmiah siswa. Kata kunci yang digunakan dalam pencarian meliputi "*artificial intelligence*" dan "*scientific reasoning*". Pemilihan *database scopus* dilakukan dengan alasan kredibilitas dan kualitas sumber (Henukh et al., 2025; Nursabila et al., 2025; Rawzis et al., 2024).

Hasil pencarian diperoleh sebanyak 65 dokumen. Validitas data digunakan menggunakan protokol PRISMA. Hasil ini kemudian diseleksi berdasarkan kriteria inklusi dan eksklusi pada Tabel 1. Setelah proses seleksi diperoleh 4 artikel yang memenuhi kriteria. Artikel ini kemudian dianalisis untuk menjawab pertanyaan penelitian.

No.	Kriteria Inklusi	Kriteria Eksklusi
1	Terbit antara 2004-2025	Terbit di sebelum 2024
2	Jenis dokumen artikel	Jenis dokumen selain artikel
3	Bahasa Inggris	Selain Bahasa Inggris
4	<i>Open Access</i>	<i>Closed Access</i>
5	<i>Final</i>	<i>In Press</i>
6	Relevan dengan RQ	Tidak relevan dengan RQ

HASIL DAN PEMBAHASAN

Sebagai bagian dari tinjauan sistematis ini, Tabel 2 akan menyajikan ringkasan dari artikel-artikel yang telah direview, yang mencakup berbagai penelitian terkait penerapan media berbasis *Artificial Intelligence* (AI) dalam pembelajaran.

Tabel 2. Ringkasan Hasil Review Artikel

Kode Artikel	Penulis, Tahun	Judul Artikel	Temuan Penting
A1	(Ghafarollahi & Buehler, 2025a)	Rapid and Automated Alloy Design with Graph Neural Network-Powered Large Language Model-Driven Multi-Agent AI	Penelitian ini mengembangkan sistem AI multi-agent untuk mendesain paduan logam dengan mengintegrasikan model bahasa besar (LLM) dan GNN untuk memprediksi sifat material. Hasilnya menunjukkan bahwa GNN dapat mengurangi biaya komputasi yang mahal dalam perhitungan sifat material dan meningkatkan efisiensi dalam eksplorasi ruang desain paduan. Pendekatan ini mendukung penalaran ilmiah dengan memanfaatkan AI untuk mempercepat proses penemuan dan prediksi yang berbasis data eksperimen, yang memungkinkan analisis yang lebih cepat dan akurat pada skala yang lebih luas.
A2	(Trigka & Dritsas, 2025)	The Evolution of Generative AI: Trends and Applications	Artikel ini menyurvei tren dan aplikasi utama dari Generative AI, dengan fokus pada model seperti VAE, GAN, dan Diffusion Models. Penelitian ini menyoroti tantangan etika, transparansi, dan kecocokan AI dalam pengambilan keputusan serta aplikasi dalam berbagai bidang seperti kesehatan dan pengembangan ilmiah. Penalaran ilmiah dalam generative AI memungkinkan pembelajaran mesin untuk mengidentifikasi pola yang tersembunyi dalam data besar, mendukung penalaran berbasis data dalam berbagai disiplin ilmu seperti biomedis, pengobatan, dan penelitian ilmiah.
A3	(Patil et al., 2024)	Artificial Intelligence Chatbots' Understanding of the Risks and Benefits of Computed Tomography and Magnetic Resonance Imaging Scenarios	Penelitian ini membandingkan akurasi informasi yang diberikan oleh ChatGPT dan Bard mengenai risiko dan manfaat prosedur medis seperti CT dan MRI. ChatGPT menunjukkan performa lebih baik dibandingkan Bard dalam memberikan informasi yang lebih akurat. Penalaran ilmiah dalam konteks ini terlihat dari kemampuan AI untuk menganalisis data medis secara lebih mendalam dan memberikan wawasan yang mendekati pengetahuan yang diberikan oleh tenaga medis, meskipun dengan batasan dalam menjelaskan alasan ilmiah secara rinci.
A4	(Henze et al., 2022)	How Might We Raise Interest in Robotics, Coding, Artificial Intelligence, STEAM and	Proyek ini menguji penggunaan pendekatan STEAM untuk mengajarkan siswa tentang AI dan Tujuan Pembangunan Berkelanjutan (SDGs). Temuan menunjukkan bahwa menggunakan alat kreatif digital dalam pendidikan STEM dapat meningkatkan

Kode Artikel	Penulis, Tahun	Judul Artikel	Temuan Penting
		Sustainable Development in University and On-the-Job Teacher Training?	keterlibatan siswa dan kemampuan mereka dalam teknologi dan keberlanjutan. Dengan mengintegrasikan penalaran ilmiah dalam pendekatan pembelajaran, siswa tidak hanya belajar konsep-konsep teknis, tetapi juga dilatih untuk mengaplikasikan pengetahuan ilmiah dalam konteks dunia nyata, mendukung pemikiran kritis dalam pemecahan masalah kompleks.

Untuk menjawab RQ1, yaitu bagaimana media berbasis *Artificial Intelligence* (AI) berkontribusi terhadap transformasi penalaran ilmiah siswa dalam pembelajaran sains, perlu dipahami bahwa AI telah membawa perubahan besar dalam cara siswa mendekati dan mengembangkan pemahaman ilmiah mereka. Media berbasis AI menawarkan berbagai alat dan sumber daya yang memfasilitasi siswa untuk menggali pengetahuan secara lebih mendalam dan interaktif. Salah satu kontribusi utama AI dalam pembelajaran sains adalah kemampuannya untuk membantu siswa memproses dan menganalisis data besar secara efisien. Artikel A1 menunjukkan bahwa penggunaan *Graph Neural Network* (GNN) dalam desain paduan logam memungkinkan sistem AI untuk memprediksi sifat material secara cepat dan akurat. Dengan kemampuan untuk mengolah data dalam jumlah besar, siswa dapat lebih mudah memahami fenomena ilmiah yang kompleks dan melakukan eksperimen virtual yang sebelumnya sulit diakses, sehingga mempercepat pengembangan penalaran ilmiah mereka (Latif & Zhai, 2024; Messeri & Crockett, 2024; Pols et al., 2021).

AI juga berperan penting dalam meningkatkan kecepatan dan akurasi dalam penalaran ilmiah siswa. Artikel A2 menjelaskan bagaimana AI generatif, seperti VAE dan GAN, dapat memproses data besar dan mengidentifikasi pola yang tidak tampak dengan cara konvensional. Dengan cara ini, siswa tidak hanya diajarkan teori, tetapi juga dilibatkan dalam analisis dan interpretasi data secara langsung (Trigka & Dritsas, 2025). AI memberi kesempatan kepada siswa untuk mengeksplorasi hubungan antara variabel dalam eksperimen dan prediksi hasilnya, sehingga mengembangkan kemampuan mereka dalam membuat kesimpulan berbasis bukti dan memperkuat keterampilan berpikir kritis yang esensial dalam penalaran ilmiah.

Media berbasis AI turut meningkatkan keterlibatan siswa dalam pembelajaran sains dengan menyediakan berbagai alat dan platform yang memfasilitasi eksplorasi ilmiah secara lebih kreatif. Henze et al. (2022) menunjukkan bahwa penerapan pendekatan STEAM yang didukung oleh AI dapat meningkatkan partisipasi siswa dalam proyek-proyek sains dan teknologi yang lebih aplikatif. Dalam konteks ini, AI tidak hanya memberikan pemahaman teori, tetapi juga mendorong siswa untuk mengintegrasikan pengetahuan sains dengan teknologi, rekayasa, seni, dan matematika dalam proyek dunia nyata. Pendekatan ini memberikan siswa kesempatan untuk menghubungkan konsep-konsep ilmiah dengan tantangan yang mereka hadapi sehari-hari, sehingga mereka dapat mengembangkan penalaran ilmiah yang lebih kuat dan aplikatif.

AI memperluas kemampuan siswa dalam memecahkan masalah yang lebih kompleks dan mendalam, yang menjadi kunci dalam pengembangan penalaran ilmiah mereka. Misalnya,

penelitian Patil et al. (2024) menunjukkan bahwa AI *chatbots* seperti ChatGPT dapat memberikan penjelasan tentang prosedur medis dengan tingkat akurasi yang lebih tinggi dibandingkan alat lain, meskipun tidak sepenuhnya mengandalkan penjelasan ilmiah yang mendalam. Meskipun ada keterbatasan dalam hal penjelasan ilmiah yang terperinci, hal ini tetap menunjukkan bahwa AI membantu siswa mengembangkan keterampilan dalam menganalisis informasi, mengevaluasi risiko, dan membuat keputusan yang lebih terinformasi. Dengan demikian, media berbasis AI memfasilitasi pengembangan penalaran ilmiah yang melibatkan analisis data yang lebih cermat, pemecahan masalah berbasis bukti, dan pengambilan keputusan yang logis dan terukur.

AI berkontribusi besar terhadap transformasi penalaran ilmiah siswa dengan menyediakan alat yang mendukung eksplorasi dan pemahaman materi sains secara lebih cepat, lebih akurat, dan lebih interaktif. Penelitian-penelitian terdahulu menunjukkan bahwa AI tidak hanya sebagai alat bantu dalam proses pembelajaran, tetapi juga sebagai katalisator dalam mengembangkan kemampuan berpikir kritis dan penalaran ilmiah yang lebih dalam. AI memungkinkan siswa untuk belajar dengan cara yang lebih terstruktur dan berbasis data, yang pada gilirannya memperkuat pemahaman dan keterampilan ilmiah mereka.

Untuk menjawab RQ2, yaitu mekanisme pedagogis dan teknologi apa saja yang mendorong terjadinya perubahan penalaran ilmiah siswa melalui pemanfaatan media berbasis *Artificial Intelligence*, perlu dipahami bahwa perubahan penalaran ilmiah siswa terjadi melalui integrasi pendekatan pedagogis yang berbasis konstruktivisme dan penggunaan teknologi yang memfasilitasi interaksi siswa dengan konten secara mendalam. Salah satu mekanisme pedagogis utama adalah penerapan *active learning*, yang memungkinkan siswa untuk secara aktif berinteraksi dengan materi pembelajaran, mengajukan pertanyaan, dan menguji hipotesis mereka. Teknologi AI mendukung mekanisme ini dengan memberikan umpan balik secara real-time dan memberikan siswa kesempatan untuk memecahkan masalah dalam simulasi yang mirip dengan eksperimen dunia nyata, seperti yang ditunjukkan oleh penelitian Henze et al. (2022). Pendekatan ini memfasilitasi siswa dalam membangun pemahaman mereka melalui eksperimen dan pengalaman langsung, memperkuat penalaran ilmiah mereka dengan cara yang lebih terlibat dan aplikatif.

Teknologi AI, seperti sistem berbasis *machine learning* dan *natural language processing* (NLP), menyediakan analisis data yang cepat dan akurat, memungkinkan siswa untuk mengidentifikasi pola, tren, dan hubungan dalam eksperimen atau kasus yang mereka pelajari. Dengan menggunakan media berbasis AI, seperti AI *chatbots* atau simulasi berbasis AI, siswa dapat menerima penjelasan yang lebih mendalam dan relevan tentang konsep-konsep ilmiah, seperti yang ditemukan dalam penelitian Patil et al. (2024). Teknologi ini juga mendorong pembelajaran adaptif, di mana konten dan tantangan yang diberikan dapat disesuaikan dengan kebutuhan dan kemampuan masing-masing siswa. Proses pembelajaran yang lebih personal ini, yang didorong oleh teknologi AI, membantu siswa untuk mengembangkan penalaran ilmiah yang lebih kuat dengan memungkinkan mereka untuk belajar dengan kecepatan mereka sendiri dan mengakses materi yang lebih relevan dan kontekstual.

KESIMPULAN

Penelitian ini menunjukkan bahwa media berbasis *Artificial Intelligence* (AI) berkontribusi signifikan terhadap transformasi penalaran ilmiah siswa dalam pembelajaran sains. Dengan

menggunakan teknologi AI, siswa dapat mengakses berbagai alat interaktif yang memungkinkan mereka untuk mengolah data dengan lebih cepat, membuat prediksi, dan memahami konsep-konsep ilmiah yang kompleks melalui simulasi dan eksperimen virtual. AI tidak hanya mempercepat proses pembelajaran, tetapi juga memperdalam penalaran ilmiah siswa dengan memberikan umpan balik yang lebih akurat dan memungkinkan siswa untuk berpikir lebih kritis dan berbasis bukti. Sebagai contoh, sistem AI seperti Graph Neural Network (GNN) yang digunakan dalam desain paduan logam, atau AI generatif seperti VAE dan GAN, memberikan siswa kesempatan untuk mengeksplorasi hubungan antara variabel dalam eksperimen secara lebih mendalam, yang mendukung pengembangan penalaran ilmiah.

Implikasi dari temuan ini sangat penting dalam konteks pendidikan modern. Integrasi AI dalam pembelajaran sains tidak hanya memfasilitasi eksplorasi ilmu pengetahuan secara lebih cepat dan efisien, tetapi juga memberikan pengalaman belajar yang lebih adaptif dan personal bagi siswa. Dengan kemampuan AI untuk menganalisis data besar dan memberikan penjelasan yang mendalam, siswa dapat memperoleh pemahaman yang lebih holistik dan aplikatif terhadap konsep-konsep ilmiah. Oleh karena itu, penerapan AI dalam pendidikan sains berpotensi meningkatkan kualitas pendidikan, membantu siswa mengembangkan keterampilan berpikir kritis, dan mempersiapkan mereka untuk menghadapi tantangan di dunia yang semakin kompleks.

Penelitian mendatang sebaiknya fokus pada eksplorasi lebih lanjut mengenai mekanisme spesifik yang mendukung transformasi penalaran ilmiah siswa melalui media berbasis AI. Penelitian ini dapat mengkaji lebih dalam tentang dampak jangka panjang penggunaan AI dalam pendidikan, serta bagaimana AI dapat diintegrasikan lebih lanjut dengan pendekatan pedagogis yang berbasis konstruktivisme. Selain itu, penting juga untuk melakukan penelitian yang lebih terarah mengenai penerapan AI dalam konteks pembelajaran sains di berbagai tingkat pendidikan, untuk melihat bagaimana teknologi ini dapat mengatasi tantangan spesifik yang dihadapi oleh siswa dalam memahami materi ilmiah yang kompleks.

REFERENSI

- Alanazi, A. A., Osman, K., & Halim, L. (2024). Effect of scaffolding strategies and guided discovery on higher-order thinking skills in physics education. *Eurasia Journal of Mathematics, Science and Technology Education*, 20(9), em2496.
- Alenezi, A. (2023). Teacher perspectives on AI-driven gamification: Impact on student motivation, engagement, and learning outcomes. *Information Technologies and Learning Tools*, 97(5), 138.
- Asrifan, A., Khristianto, K., Budiman, A., Astuti, P. I., & Rosydy, A. (2025). Enhancing Critical Thinking: The Role of AI in Modern Education. In *Enhancing Classroom Instruction and Student Skills With AI* (hal. 413–448). IGI Global Scientific Publishing.
- Ayeni, O. O., Al Hamad, N. M., Chisom, O. N., Osawaru, B., & Adewusi, O. E. (2024). AI in education: A review of personalized learning and educational technology. *GSC Advanced Research and Reviews*, 18(2), 261–271.
- Bao, L., Koenig, K., Xiao, Y., Fritchman, J., Zhou, S., & Chen, C. (2022). Theoretical model and quantitative assessment of scientific thinking and reasoning. *Physical Review Physics Education Research*, 18(1), 10115.

- Bernius, J. P., Krusche, S., & Bruegge, B. (2022). Machine learning based feedback on textual student answers in large courses. *Computers and Education: Artificial Intelligence*, 3, 100081.
- Chiu, T. K. F., Moorhouse, B. L., Chai, C. S., & Ismailov, M. (2024). Teacher support and student motivation to learn with Artificial Intelligence (AI) based chatbot. *Interactive Learning Environments*, 32(7), 3240–3256.
- De la Vall, R. R. F., & Araya, F. G. (2023). Exploring the benefits and challenges of AI-language learning tools. *International Journal of Social Sciences and Humanities Invention*, 10(01), 7569–7576.
- Fitria, T. N. (2021). Artificial intelligence (AI) in education: Using AI tools for teaching and learning process. *Prosiding seminar nasional & call for paper STIE AAS*, 134–147.
- Ghafarollahi, A., & Buehler, M. J. (2025a). Rapid and automated alloy design with graph neural network-powered large language model-driven multi-agent AI. *MRS Bulletin*, 1–16.
- Ghafarollahi, A., & Buehler, M. J. (2025b). SciAgents: automating scientific discovery through bioinspired multi-agent intelligent graph reasoning. *Advanced Materials*, 37(22), 2413523.
- Henukh, A., Irvani, A. I., Setiawan, A., Seme, E. M., & Raja, N. R. L. (2025). AI and Transformative Learning in Higher Education: A Systematic Literature Review and Bibliometric Insights. *Journal of Teaching and Learning*, 19(4), 233–261.
- Henze, J., Schatz, C., Malik, S., & Bresges, A. (2022). How might we raise interest in robotics, coding, artificial intelligence, STEAM and sustainable development in university and on-the-job teacher training? *Frontiers in education*, 7, 872637.
- Janoušková, S., Pyskatá Rathouská, L., Žák, V., & Urválková, E. S. (2023). The scientific thinking and reasoning framework and its applicability to manufacturing and services firms in natural sciences. *Research in Science & Technological Education*, 41(2), 653–674.
- Jumabaeva, M. (2025). Encouraging And Motivating Students To Be Active In The Primary School Classroom. *International Journal of Artificial Intelligence*, 1(2), 243–245.
- Kassenkhan, A. M., Moldagulova, A. N., & Serbin, V. V. (2025). Gamification and Artificial Intelligence in Education: A Review of Innovative Approaches to Fostering Critical Thinking. *IEEE Access*.
- Kotsis, K. T. (2025). Artificial Intelligence and the Scientific Process: A Review of ChatGPT's Role to Foster Experimental Thinking in Physics Education. *European Journal of Contemporary Education and E-Learning*, 3(3), 183–198.
- Latif, E., & Zhai, X. (2024). Fine-tuning ChatGPT for automatic scoring. *Computers and Education: Artificial Intelligence*, 6, 100210.
- Lee, H.-Y., Chen, P.-H., Wang, W.-S., Huang, Y.-M., & Wu, T.-T. (2024). Empowering ChatGPT with guidance mechanism in blended learning: Effect of self-regulated learning, higher-order thinking skills, and knowledge construction. *International Journal of Educational Technology in Higher Education*, 21(1), 16.
- Lee, S. J., & Kwon, K. (2024). A systematic review of AI education in K-12 classrooms from

- 2018 to 2023: Topics, strategies, and learning outcomes. *Computers and Education: Artificial Intelligence*, 6, 100211.
- Mahmoud, C. F., & Sørensen, J. T. (2024). Artificial intelligence in personalized learning with a focus on current developments and future prospects. *Research and Advances in Education*, 3(8), 25–31.
- Mayasari, N., Sastraatmadja, A. H. M., Suparman, T., Mutiara, I. I., & Maqfirah, P. A.-V. (2024). Effectiveness of Using Artificial Intelligence Learning Tools and Customized Curriculum on Improving Students' Critical Thinking Skills in Indonesia. *The Eastasouth Journal of Learning and Educations*, 2(02), 111–118.
- Messeri, L., & Crockett, M. J. (2024). Artificial intelligence and illusions of understanding in scientific research. *Nature*, 627(8002), 49–58.
- Muthmainnah, Ibna Seraj, P. M., & Oteir, I. (2022). Playing with AI to investigate human-computer interaction technology and improving critical thinking skills to pursue 21st century age. *Education Research International*, 2022(1), 6468995.
- Neji, W., Boughattas, N., & Ziadi, F. (2023). Exploring New Ai-Based Technologies To Enhance Students' motivation. *Issues in Informing Science & Information Technology*, 20.
- Nursabila, N., Irvani, A. I., & Muhajir, S. N. (2025). Analysis the Problem-Based Learning Model in Physics Education: How Did It Work? *International Conference on Educational Innovations and Practices (ICIEP) 2024*, 14–20. https://www.researchgate.net/publication/393750028_Analysis_the_Problem-Based_Learning_Model_in_Physics_Education_How_Did_It_Work
- Papaneophytou, C., & Nicolaou, S. A. (2025). Promoting Critical Thinking in Biological Sciences in the Era of Artificial Intelligence: The Role of Higher Education. *Trends in Higher Education*, 4(2), 24.
- Patil, N. S., Huang, R. S., Caterine, S., Yao, J., Larocque, N., van der Pol, C. B., & Stubbs, E. (2024). Artificial intelligence chatbots' understanding of the risks and benefits of computed tomography and magnetic resonance imaging scenarios. *Canadian Association of Radiologists Journal*, 75(3), 518–524.
- Pellas, N. (2025). The impact of AI-generated instructional videos on problem-based learning in science teacher education. *Education Sciences*, 15(1), 102.
- Pols, C. F. J., Dekkers, P., & De Vries, M. J. (2021). What do they know? Investigating students' ability to analyse experimental data in secondary physics education. *International Journal of Science Education*, 43(2), 274–297.
- Rawzis, K., Irvani, A. I., Elviana, T., Abe, Y., & Chatimah, H. (2024). A Decade of Bibliometrics Exploration on Wind Tunnel as Learning Media in Fluid Mechanics. *Tarbiyah Suska Conference Series*, 3(1), 86–103. <https://jom.uin-suska.ac.id/index.php/TSCS/article/view/3602>
- Saar, M., Ljalikova, A., Theophilou, E., Alkhasawneh, S. N., & Hernández-Leo, D. (2025). Empowering Teachers to Enhance Student High Order Thinking Skills with Artificial Intelligence Educational Tools. *European Conference on Technology Enhanced Learning*, 442–456.

- Singh, A. (2024). The future of learning: AI-driven personalized education. *Available at SSRN* 5076438.
- Stasolla, F., Zullo, A., Maniglio, R., Passaro, A., Di Gioia, M., Curcio, E., & Martini, E. (2025). Deep Learning and Reinforcement Learning for Assessing and Enhancing Academic Performance in University Students: A Scoping Review. *AI*, 6(2), 40.
- Strielkowski, W., Grebennikova, V., Lisovskiy, A., Rakhimova, G., & Vasileva, T. (2025). AI-driven adaptive learning for sustainable educational transformation. *Sustainable Development*, 33(2), 1921–1947.
- Trigka, M., & Dritsas, E. (2025). The Evolution of Generative AI: Trends and Applications. *IEEE Access*.
- Wu, R., & Yu, Z. (2024). Do AI chatbots improve students learning outcomes? Evidence from a meta-analysis. *British Journal of Educational Technology*, 55(1), 10–33.
- Xu, Z. (2024). AI in education: Enhancing learning experiences and student outcomes. *Applied and Computational Engineering*, 51(1), 104–111.
- Yim, I. H. Y., & Su, J. (2025). Artificial intelligence (AI) learning tools in K-12 education: A scoping review. *Journal of Computers in Education*, 12(1), 93–131.
- Zakaria, A., Irvani, A. I., & Muhajir, S. N. (2025). Analisis Mendalam Peningkatan Keterampilan Argumentasi Ilmiah Siswa Pada Pembelajaran Fisika. *Pendas: Jurnal Ilmiah Pendidikan Dasar*, 10(01), 956–965.
- Zhai, X., He, P., & Krajcik, J. (2022). Applying machine learning to automatically assess scientific models. *Journal of Research in Science Teaching*, 59(10), 1765–1794.