



Integrasi Teknologi AI dalam Pembelajaran STEM di Sekolah Menengah : Perspektif Personalisasi, Tantangan, dan Implikasi

Uban Subandi^{1*}, Supardi US²

^{1,2}Pendidikan MIPA Fakultas Pascasarjana, Universitas Indraprasta PGRI, Indonesia

Alamat : Jl. Nangka No. 58 C (TB. Simatupang), Kel. Tanjung Barat, Kec. Jagakarsa, Jakarta Selatan 12530, Jakarta, Indonesia

Abstract: Artificial Intelligence in STEM education has gained attention because it has the potential to transform the learning and teaching process. The study aims to systematically analyze the application of AI technology in STEM education, focusing on the impact on student engagement, learning outcomes, and teaching methods. The study used the Systematic Literature Review (SLR) method with PRISMA guidance, Articles published in the last ten years, to ensure the selection process on the latest trends. The main findings show that AI-based tools, such as adaptive learning systems, intelligent tutoring systems, and automated assessment platforms, significantly enhance the personalized learning experience and encourage students' critical thinking skills in STEM learning. Challenges such as ethical considerations, data privacy issues, and the digital divide are still issues that need attention. Overall, the study shows that AI has a crucial role in STEM education in the future and recommends a strategic framework to overcome the challenges of AI implementation. The main findings of the article provide a basis for educators, policymakers, and researchers to develop and implement AI-based innovations effectively in STEM education.

Keywords: STEM Education, Intelligent Tutoring System, Ethical Challenges

Abstrak: Kecerdasan Buatan dalam pendidikan STEM mendapatkan perhatian karena memiliki potensi untuk mentransformasi proses pembelajaran dan pengajaran. Penelitian bertujuan menganalisis secara sistematis penerapan teknologi AI dalam pendidikan STEM, dengan fokus dampak keterlibatan siswa, hasil belajar, dan metode pengajaran. Penelitian menggunakan metode Systematic Literature Review (SLR) dengan panduan PRISMA, Artikel yang diterbitkan dalam sepuluh tahun terakhir, untuk memastikan proses seleksi pada tren keterbaruan. Temuan utama menunjukkan alat berbasis AI, seperti sistem pembelajaran adaptif, sistem tutor cerdas, dan platform penilaian otomatis, secara signifikan meningkatkan pengalaman belajar yang personal dan mendorong keterampilan berpikir kritis siswa dalam pembelajaran STEM. Tantangan seperti pertimbangan etis, masalah privasi data, dan kesenjangan digital masih jadi isu yang perlu perhatian. Secara keseluruhan dari penelitian, AI memiliki peran krusial dalam pendidikan STEM di masa depan dan rekomendasi kerangka kerja strategis untuk mengatasi tantangan implementasi AI. Temuan utama artikel memberikan dasar bagi pendidik, pembuat kebijakan, dan peneliti untuk mengembangkan dan mengimplementasikan inovasi berbasis AI secara efektif dalam pendidikan STEM.

Kata Kunci: Pendidikan STEM, Sistem Tutor Cerdas, Tantangan Etis

1. PENDAHULUAN

Transformasi teknologi sangat pesat, terutama Artificial Intelligence (AI). AI telah membawa perubahan di berbagai bidang, termasuk pendidikan. Dalam lingkup pendidikan abad ke-21, bidang Science, Technology, Engineering, and Mathematics (STEM) menjadi landasan utama dalam mendidik generasi muda untuk memiliki keterampilan berpikir kritis, pemecahan masalah, dan inovasi (Karalekas et al., 2023). AI juga memiliki potensi untuk menunjang personalisasi pembelajaran, memfasilitasi siswa mendapat materi yang sesuai dengan kebutuhan individu, penyesuaian konten, dan umpan balik secara real-time (Feng & Li, 2024). Terlepas dari AI memberi manfaat, implementasi AI dalam pendidikan

STEM masih tetap dihadapkan berbagai tantangan, mulai dari kesenjangan akses hingga keterbatasan pendekatan tradisional. Oleh sebab itu, perlu mengkaji penggunaan teknologi AI dapat diintegrasikan secara optimal pada pembelajaran STEM di sekolah, terutama untuk memenuhi kebutuhan yang dipersonalisasi dalam pembelajaran serta strategi dan mitigasi mengatasi tantangan tersebut dalam pendidikan.

Walaupun pendidikan STEM menjadi pilar utama dalam mempersiapkan siswa menghadapi tantangan dunia modern, metode tradisional tidak sepenuhnya berhasil memenuhi kebutuhan belajar siswa yang berbeda. Sistem pembelajaran STEM yang tradisional kurang responsif terhadap keberagaman belajar siswa, sehingga menurunkan motivasi dan keterlibatan siswa (Wu et al., 2023). Selain hal tersebut, penelitian tentang penerapan AI dalam pendidikan masih sedikit yang secara khusus menilai efektivitas teknologi ini dalam mempersonalisasi pembelajaran STEM di tingkat sekolah menengah. Kemudian masalah lain yang belum banyak dibahas adalah tantangan etis dan teknis, seperti bias algoritmik, privasi data siswa, dan keterbatasan infrastruktur, yang dapat mempengaruhi keberhasilan penerapan AI dalam pendidikan. Maka, perlu penelitian secara mendalam untuk mengatasi celah ini serta memberikan solusi untuk personalisasi pembelajaran STEM berbantuan AI.

Penelitian ini bertujuan mengevaluasi bagaimana teknologi AI dapat mempersonalisasi pembelajaran STEM di tingkat sekolah menengah, dengan memfokuskan pada bagaimana AI dapat meningkatkan motivasi, keterlibatan siswa, dan pengembangan keterampilan abad ke-21. Serta, mengkaji dampak penerapan AI pada pengalaman belajar siswa, khususnya dalam konteks pendidikan STEM yang adaptif. Studi ini mendeskripsikan rekomendasi yang dapat digunakan oleh pendidik, lembaga pendidikan, dan pengembang teknologi untuk mengintegrasikan AI secara efektif dalam pendidikan STEM, mengatasi tantangan etis dan teknis yang mungkin muncul.

Penelitian sebelumnya telah banyak mengkaji penggunaan AI dalam pendidikan STEM, tetapi masih terbatas pada tingkat pendidikan tinggi dan kurang memperhatikan personalisasi pembelajaran di tingkat sekolah menengah. Disamping itu, sedikit penelitian yang membahas secara rinci masalah sosial dan etika, seperti bias algoritmik dan privasi data, yang merupakan hambatan penting dalam penggunaan AI. Kemudian terdapat kekurangan studi komparatif yang menyelidiki efektivitas pembelajaran STEM terintegrasi AI dengan strategi pembelajaran tradisional. Kesenjangan tersebut perlu pendekatan yang lebih sistematis dalam menilai efektivitas dan relevansi AI dalam

personalisasi pembelajaran STEM pada pelajar sekolah menengah, serta mengkaji lebih dalam faktor sosial dan teknis yang memengaruhi integrasi teknologi ini.

Studi ini memberikan sumbangan baru dalam pemahaman pembelajaran dipersonalisasi dengan AI di pembelajaran STEM, literasi AI untuk siswa dan guru, yang belum banyak dibahas dalam konteks pembelajaran STEM sekolah menengah. Dengan memberikan rekomendasi berdasarkan bukti kepada pendidik dan lembaga pendidikan, penelitian ini bertujuan untuk meningkatkan efisiensi pendidikan STEM dan mengatasi masalah etika dan sosial terkait penggunaan AI. Penelitian ini akan menjawab empat pertanyaan penelitian: Apa tren penelitian AI in Education dalam pembelajaran STEM?, Bagaimana AIED memengaruhi pengembangan keterampilan abad ke-21 dalam pembelajaran STEM dibandingkan pendekatan tradisional?, Apa peran personalized learning berbasis AI dalam menciptakan pengalaman belajar yang adaptif dan inklusif di kelas STEM?, Apa tantangan dan strategi mitigasi dalam penerapan AIED dan generative AI di pendidikan STEM?

2. METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan pendekatan Systematic Literature Review (SLR) dengan panduan PRISMA, hal ini bertujuan untuk menjamin validitas dan transparansi hasil. Proses dimulai dengan perumusan pertanyaan penelitian dengan menggunakan kerangka PICOS untuk mengevaluasi implementasi *Artificial Intelligence in Education* (AIED) dalam pembelajaran STEM di sekolah menengah.

Proses Pencarian dan Seleksi

Literatur dalam penelitian diperoleh dari database Scopus dan Google Scholar dengan menggunakan kata kunci "AI in STEM education" dan "21st-century skills." Artikel yang dipilih hanya berasal dari jurnal bereputasi yang dipublikasikan dalam 10 tahun terakhir (2013–2023) untuk melihat tren terkini. Kriteria inklusi mencakup penggunaan AI dalam pembelajaran STEM di sekolah menengah, dampak terhadap hasil belajar, serta studi empiris atau tinjauan sistematis. Artikel yang tidak relevan dengan topik penelitian, tidak berdasarkan studi empiris, atau tidak memenuhi dengan standar metodologi ilmiah dikeluarkan.

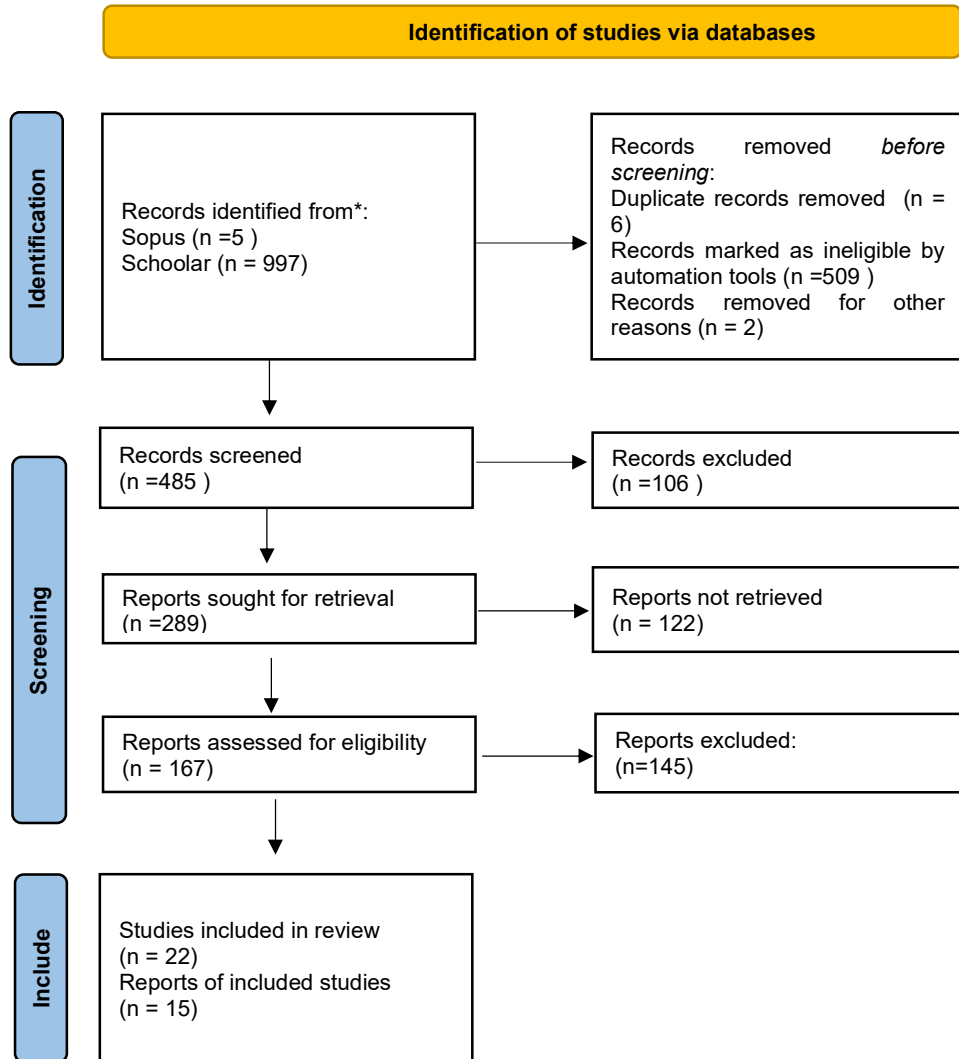
Tahapan Seleksi

Seleksi literatur dilakukan berdasarkan alur kerja PRISMA sebagai berikut

Identifikasi : 1002 artikel ditemukan.

Penyaringan : 835 artikel dihapus (duplikasi atau tidak relevan).

Eligibility : 167 artikel diperiksa penuh.



Gambar 1. Alur Diagram Prisma.

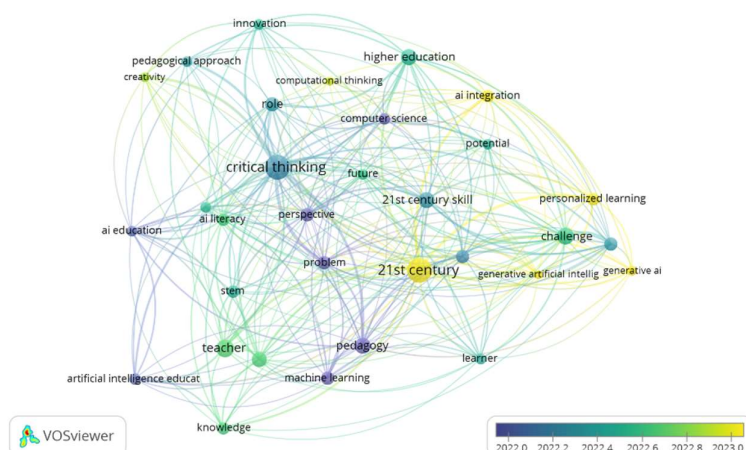
3. HASIL DAN DISKUSI

Hasil

RQ1: Apa tren penelitian AI in Education dalam pembelajaran STEM?

Tren penelitian

Peninjauan sistematis melibatkan analisis dari sejumlah studi yang berfokus pada integrasi kecerdasan buatan (AI) dalam Pembelajaran STEM di sekolah tingkat menengah. Artikel yang diperoleh sebanyak 1002 artikel yang memenuhi kriteria inklusi, Artikel-artikel ini dipublikasikan antara tahun 2013 hingga 2023, yang mencerminkan tren terkini dalam penerapan teknologi AI di dunia pendidikan.



Gambar 2. Visualisasi jaringan kata kunci dari 1002 artikel yang diolah

Dari gambar VOSviewer memperlihatkan bahwa hubungan topik dan perkembangan tren penelitian Artificial Intelligence in Education (AIED) dalam pembelajaran STEM, berfokus pada keterampilan abad ke-21. Dengan muncul visualisasi, 21st century skills, menegaskan pentingnya keterampilan berpikir kritis (critical thinking), kreativitas, dan inovasi dalam konteks pendidikan berbasis AI. Node berwarna dan garis penghubung mengilustrasikan frekuensi serta hubungan antar istilah, dengan warna yang menunjukkan perkembangan dari 2022 hingga 2023. Misalnya, topik seperti personalized learning dan generative AI ditampilkan dalam warna kuning, menunjukkan bahwa kedua tema ini menjadi perhatian utama penelitian terkini. Istilah critical thinking, teacher, dan pedagogy memiliki hubungan kuat dengan konsep utama, seperti AI integration dan computational thinking, hal ini menunjukan relevan dalam mendukung proses pembelajaran

adaptif. Node kecil, seperti AI literacy dan challenge, mengindikasikan perhatian pada literasi AI di kalangan pendidik serta hambatan implementasi seperti: bias algoritmik dan privasi data. Jaringan tersebut juga menggambarkan kolaborasi antardisiplin, dengan keterlibatan pendidikan tinggi (higher education), pedagogi, dan teknologi dalam inovasi pendidikan.

Visualisasi diatas memberikan wawasan arah penelitian saat ini semakin bergeser ke adaptasi teknologi generatif, personalisasi pembelajaran, dan pengembangan keterampilan abad ke-21. hal Ini mencerminkan kebutuhan mendesak untuk menjembatani kesenjangan antara teknologi AI dan pedagogi yang relevan untuk pendidikan STEM di era modern. Penelitian hanya mengulas 15 dari 22 artikel yang memenuhi kriteria untuk melihat Pengaruh Teknologi AIED terhadap Keterampilan Abad ke-21, Peran *Personalized Learning* Berbasis AI dalam Pendidikan STEM, Tantangan dan Strategi Mitigasi dalam Mengintegrasikan Generative AI. Berikut artikel yang telah review

Tabel 1. Artikel Literatur

Nomor	Penulis	Tahun	Topik utama	Metode penelitian	Temuan utama
1.	AlAli dan Wardat	2024	Peluang dan Tantangan Integrasi AI	Wawancara, Diskusi, Analisis	AI dapat meningkatkan pengalaman belajar dan kreativitas, tapi ada tantangan etika.
2.	Chaudhry et al	2022	Kerangka Kerja Indeks Transparansi	Wawancara	Indeks transparansi membantu identifikasi kekurangan dalam audit produk ed-tech.
3.	Dimitriadou dan Lanitis	2023	Evaluasi Kritis dan Perspektif AI	Tinjauan Pustaka	AI meningkatkan kinerja pengajaran dan penggunaan teknologi dalam keadaan darurat
4.	Feng dan Li	2024	Penggunaan AI di Pendidikan	Analisis Literatur	AI menawarkan peluang dalam manajemen dan akses global ke sumber daya pendidikan.
5.	Muhammad et al	2023	Revolusi Pendidikan dan AI	analisis literatur	AI berpotensi meningkatkan inklusivitas dan

					kesetaraan dalam pendidikan
6.	W. Park, H. Kwon	2024	Implementasi Pendidikan dengan AI	Wawancara, Observasi	Program AI dapat meningkatkan pemahaman siswa tentang etika kecerdasan buatan.
7.	Jayasuriya et al		Pengembangan Profesionalisme Guru	Workshop	Desain kurikulum ImageSTEAM meningkatkan keterlibatan guru dan siswa.
8.	Kangiwa et al	2024	Penggunaan AI dalam Pendidikan	Kualitatif	AI meningkatkan efektivitas dalam proses belajar mengajar.
9.	Karalekas et al	2023	Mengajarkan Pembelajaran Mesin	Peninjauan Sistematis	Robotika membantu siswa memahami konsep pembelajaran mesin.
10.	Alexandara Harry, Sayudin	2023	Peran AI dalam Pendidikan	Literatur Review	AI merevolusi cara belajar dengan membuatnya lebih personal dan efisien.
11.	Olesia Kyselova	2024	Implementasi Pembelajaran Berbasis Proyek	kuantitatif dan kualitatif.	Penggunaan AI meningkatkan motivasi dan kemandirian siswa.
12.	Mohamed et al.	2022	Kecerdasan buatan dalam pendidikan matematika	Sistematis Literatur Review	40% studi (n = 8) menggunakan metode penelitian kuantitatif. 60% studi (n = 12) meneliti efektivitas sistem AI dalam pembelajaran matematika. Puncak publikasi artikel tentang AI terjadi pada tahun 2021 (30%).
13.	Saralar, Aras, & Schoenberg	2024	Integrasi Pemrograman dan Matematika	Tinjauan literatur yang sistematis	Integrasi coding dan AI meningkatkan kemampuan pemecahan masalah.
14.	Shabalala	2024	pemanfaatan kecerdasan buatan di	Tinjauan pustaka	AI mendukung pelacakan kemajuan belajar dan

			dalam pembelajaran jarak jauh STEM		pengalaman personalisasi.
15.	Smyrnaiou et al	2023	Penggunaan Etis AI dalam Pendidikan	Metode Deskriptif	Penggunaan AI harus menghormati otonomi manusia dan prinsip etis

RQ2: Bagaimana AIED mempengaruhi pengembangan keterampilan abad ke-21 dalam pembelajaran STEM dibandingkan pendekatan tradisional?

a. Dampak Positif Implementasi AIED

Penggunaan Artificial Intelligence in Education (AIED) secara signifikan mendukung pengembangan keterampilan abad ke-21, seperti berpikir kritis, kolaborasi, dan literasi digital. Studi empiris menunjukkan bahwa teknologi AIED, melalui simulasi interaktif dan analisis data adaptif, dapat meningkatkan kemampuan berpikir kritis dengan mengarahkan siswa pada pemecahan masalah yang kompleks secara mandiri dan terstruktur (Park & Kwon, 2024). Sebagai contoh, penelitian oleh Harry & Sayudin (2023) menemukan bahwa platform pembelajaran berbasis AI meningkatkan kemampuan kolaborasi siswa melalui aktivitas tim dengan menggunakan algoritma penyesuaian tugas secara dinamis. Siswa menjadi terampil dalam literasi digital karena menggunakan teknologi, seperti chatbot edukatif dan alat simulasi menggunakan AI.

Studi kasus penerapan AIED dalam pembelajaran sains dan matematika interaktif menunjukkan bagaimana teknologi AI mendorong kreativitas siswa. Dalam studi yang dilakukan oleh Mohamed et al (2022), penggunaan AI dalam pembelajaran matematika memungkinkan siswa untuk memvisualisasikan pola geometris yang kompleks, sehingga memfasilitasi eksplorasi ide-ide kreatif. Simulasi berbasis AI dalam pembelajaran sains memungkinkan siswa melakukan eksperimen virtual yang mendukung pembelajaran berdasarkan pengalaman, memperkaya pemahaman konseptual terhadap fenomena ilmiah.

b. Perbandingan dengan Pendekatan Tradisional

Pendekatan tradisional dalam lingkup pembelajaran STEM sering kali terbatas pada pembelajaran satu arah dan kurang mampu memenuhi kebutuhan siswa secara individual. Berbeda dari pendekatan tradisional, AIED menghadirkan umpan balik real-time dipersonalisasi, sehingga memungkinkan siswa dengan cepat mengetahui

kesalahan dan dengan cepat memperbaikinya secara mandiri. Studi oleh Kyselova, (2024) menemukan bahwa penerapan AI dalam pembelajaran berbasis proyek di sekolah menengah meningkatkan kemampuan siswa dalam menyelesaikan proyek multidisipliner dengan lebih efisiensi dibandingkan dengan pendekatan tradisional.

Teknologi AIED juga mendukung pembelajaran adaptif yang sulit dicapai dengan metode tradisional (Feng & Li, 2024; Wang & Li, 2024). contohnya, sistem AI dapat menganalisis kinerja siswa secara langsung melalui data dan memberikan rekomendasi pembelajaran yang spesifik sesuai kebutuhan individu masing masing (Smyrniou et al., 2023). Hal ini mempercepat proses pembelajaran dan membantu siswa menguasai materi yang sebelumnya sulit dipahami. Keunggulan tersebut memberikan kelebihan kompetitif dalam mengembangkan keterampilan abad ke-21 dengan terarah dan efektif.

c. Implikasi untuk Praktik Pendidikan

Integrasi AIED dalam pembelajaran STEM perlu penyesuaian kurikulum untuk memastikan teknologi ini dapat diterapkan secara efektif. Kurikulum STEM yang lebih fleksibel dirancang untuk memanfaatkan fitur AI, seperti pembelajaran berbasis simulasi dan analitik data siswa (Kangiwa et al., 2024; Shabalala, 2024). Penyesuaian harus mempertimbangkan kebutuhan untuk memadukan elemen-elemen keterampilan abad ke-21, mencakup berpikir kritis, kolaborasi, dan kreativitas, ke dalam setiap pendidikan STEM.

Pelatihan guru juga tidak kalah penting. Guru berperan dalam mengintegrasikan teknologi AI ke dalam pembelajaran, pelatihan khusus diperlukan untuk memastikan guru dapat memanfaatkan AIED secara maksimal. Menurut (Dimitriadou & Lanitis, 2023) (Yang et al., 2024), pelatihan intensif bagi guru dalam memahami mekanisme AI, bagaimana menggunakan AI untuk mendukung pembelajaran adaptif yang dapat meningkatkan efektivitas penerapan AIED di kelas. Kemudian, dukungan kebijakan pendidikan yang kuat diperlukan untuk memastikan bahwa infrastruktur teknologi yang memadai tersedia di sekolah, sehingga kesenjangan digital dapat diminimalkan (Olufunmilayo, 2023).

RQ3: Bagaimana AIED memengaruhi pengembangan keterampilan abad ke-21 dalam pembelajaran STEM dibandingkan pendekatan tradisional?

a. Konsep Personalized Learning

Teknologi Artificial Intelligence (AI) mendukung personalized learning dengan mengadaptasi konten pembelajaran berdasarkan kebutuhan unik siswa. Sistem berbasis AI memanfaatkan algoritma mesin pembelajaran untuk menganalisis data siswa, seperti kecepatan belajar, preferensi gaya belajar, dan hasil evaluasi sebelumnya, guna merekomendasikan materi yang sesuai dengan tingkat pemahaman individu siswa (Herawati et al., 2024; Tapalova & Zhiyenbayeva, 2022). Contoh konkret implementasi personalized learning dapat ditemukan dalam pendidikan STEM berbasis AI, di mana siswa menerima rencana pembelajaran secara dinamis. Contohnya dalam penelitian oleh Saralar-Aras & Schoenberg (2024), platform AI menyediakan konten matematika yang disesuaikan dengan tingkat kesulitan tertentu, memungkinkan siswa yang lebih lambat memahami konsep dasar terlebih dahulu, sementara siswa yang lebih maju dapat langsung melanjutkan ke topik yang lebih kompleks. Dengan pendekatan ini, teknologi AI tersebut menjadikan pembelajaran lebih efisien dan relevan bagi setiap individu.

b. Manfaat Pembelajaran yang Adaptif dan Inklusif

Personalized learning berbasis AI telah terbukti meningkatkan keterlibatan siswa, hasil belajar, dan menciptakan pengalaman yang inklusif bagi siswa dengan berbagai tingkat kemampuan (Herawati et al., 2024). Penyesuaian materi pembelajaran memungkinkan siswa merasa lebih termotivasi karena pembelajaran disesuaikan dengan kebutuhan dan minat mereka. Studi oleh Lin & Lai (2021) menunjukkan bahwa siswa yang menggunakan platform pembelajaran adaptif berbasis AI mencapai skor lebih tinggi dalam tes matematika dibandingkan mereka yang belajar melalui metode tradisional. Kemudian teknologi AI mendukung inklusi pendidikan dengan memberikan akses pembelajaran yang setara bagi siswa dengan kebutuhan khusus, seperti gangguan pendengaran atau kesulitan belajar, melalui alat bantu seperti pembaca teks otomatis dan simulasi visual interaktif (Muhammad et al., 2024).

Pembelajaran adaptif menggunakan AI juga meningkatkan pengalaman belajar yang bermakna. contohnya, studi oleh Shabalala (2024) menemukan bahwa penerapan AI dalam pembelajaran STEM membantu siswa memahami konsep

kompleks melalui simulasi eksperimen yang disesuaikan dengan tingkat pemahaman mereka, sehingga meningkatkan rasa percaya diri siswa.

c. Panduan Pengembangan Lebih Lanjut

Integrasi data siswa yang lebih komprehensif dapat mendorong pengembangan pembelajaran yang lebih adaptif dan kontekstual. Misalnya, perilaku siswa di luar kelas, seperti minat ekstrakurikuler dan kebiasaan belajar di rumah, dapat digunakan untuk memasukan pengembangan kurikulum. Tetapi penerapan personalized learning berbasis AI menghadapi tantangan besar, terutama privasi dan etika data. Pengumpulan dan pemrosesan data siswa memerlukan perlindungan yang ketat agar terhindar pelanggaran privasi atau penyalahgunaan informasi.

Pengembangan teknologi harus memperhatikan risiko bias algoritmik yang dapat menghambat inklusi pendidikan. Studi oleh AlAli & Wardat (2024); Chaudhry et al.(2022) menekankan pentingnya transparansi desain algoritma AI untuk memastikan sistem pembelajaran adaptif tidak memperkuat stereotip atau diskriminasi terhadap kelompok tertentu. Maka, kolaborasi antara pengembang teknologi, pendidik, dan institusi pendidikan sangat diperlukan untuk implementasi yang etis dan efektif dalam pendidikan STEM.

RQ4: Apa tantangan dan strategi mitigasi dalam penerapan AIED dan generative AI di pendidikan STEM?

a. Hambatan

Penerapan generative AI dalam pembelajaran STEM menghadapi bermacam hambatan teknis dan sosial. Secara teknis, keterbatasan infrastruktur teknologi menjadi tantangan utama, sekolah menengah yang belum memiliki akses memadai ke perangkat keras canggih atau konektivitas internet yang stabil (Shabalala, 2024). Kemudian dari tingkat literasi AI yang rendah di kalangan guru menghambat pemanfaatan optimal teknologi, Banyak pendidik kurang percaya diri dalam menggunakan generative AI, karena penggunaan teknologi ini memerlukan pelatihan khusus untuk memahami algoritma dan sistem AI (Molina et al., 2024).

Dari segi sosial dan etis, penggunaan AI menghadirkan kekhawatiran tentang ketergantungan berlebihan pada AI, yang berpotensi mengurangi peran guru sebagai fasilitator utama dalam proses belajar (Shodieva, 2024). Penggunaan generative AI juga memunculkan isu etika seperti bias algoritmik, keamanan data,

dan kelemahan teknologi ini memengaruhi interaksi manusia dalam lingkungan belajar (Wang & Li, 2024).

b. Strategi Mitigasi

Untuk mengatasi dalam keterbatasan infrastruktur, strategi mitigasi dari sisi kebijakan, pemerintah dan institusi pendidikan perlu menyediakan dukungan yang lebih besar untuk meningkatkan infrastruktur teknologi, seperti jaringan internet yang andal dan perangkat keras yang kompatibel dengan teknologi AI. Program pelatihan intensif bagi guru diperlukan untuk meningkatkan literasi AI, dengan fokus pada aplikasi generative AI dalam pengajaran STEM (Jayasuriya et al., 2024; Yang et al., 2024).

Pengembangan pedoman etika khusus untuk penggunaan generative AI dalam pendidikan sangat penting, mencakup prinsip transparansi, akuntabilitas, dan perlindungan privasi siswa (Herawati et al., 2024). Kolaborasi antara pengembang teknologi, pendidik, dan institusi pendidikan dapat memastikan bahwa generative AI diterapkan secara etis dan efektif mendukung pembelajaran STEM.

c. Manfaat Jangka Panjang

Manfaat integrasi generative AI dalam jangka panjang, mendorong inovasi dan inklusi dalam pendidikan STEM (Kangiwa et al., 2024). AIED menciptakan lingkungan belajar yang lebih dinamis dan personal, mengupayakan siswa berbagai latar belakang untuk mengakses pendidikan yang berkualitas. Proyeksi dampak positif ini mencakup peningkatan kemampuan berpikir kritis, kolaborasi, dan kreativitas, yang menjadi inti keterampilan abad ke-21 (Karalekas et al., 2023).

Strategi mitigasi efektif dapat mendukung keberlanjutan pendidikan STEM di masa depan dengan membangun fondasi yang kuat untuk memanfaatkan teknologi AI secara bertanggung jawab. Dengan mengatasi hambatan teknis dan sosial, generative AI dapat berkontribusi pada transformasi pendidikan global, menjadikannya lebih relevan dan inklusif untuk kebutuhan abad ke-21.

Diskusi

Penelitian menunjukkan bahwa fokus penelitian semakin mengarah pada bagaimana teknologi AI dapat memfasilitasi keterampilan berpikir kritis, kreativitas, dan kolaborasi. Ditemukan juga kesenjangan, terutama terkait pemahaman jangka panjang mengenai dampak AIED dalam pendidikan di sekolah menengah.

AIED memiliki potensi besar dalam meningkatkan keterampilan abad ke-21, terutama pembelajaran yang dipersonalisasi dan simulasi interaktif. Studi empiris menunjukkan AIED secara signifikan mendukung kemampuan berpikir kritis siswa melalui aktivitas berbasis proyek dan eksperimen virtual. Dibandingkan dengan pendekatan tradisional, AIED menyediakan umpan balik real-time yang mengupayakan siswa memperbaiki strategi pembelajaran secara mandiri. Hal ini memberikan peluang siswa untuk mengembangkan pemahaman konseptual yang mendalam dan keterampilan inovasi yang relevan di era digital.

Teknologi AI mendukung personalized learning dengan menyesuaikan konten pembelajaran berdasarkan kebutuhan individu siswa. Teknologi ini meningkatkan keterlibatan siswa juga memberikan pengalaman belajar inklusif, terutama bagi siswa dengan kebutuhan khusus. Personalisasi pembelajaran juga menghadapi tantangan seperti privasi data siswa dan potensi bias algoritmik. Oleh sebab itu, diperlukan kerangka kerja yang transparan dan kolaborasi antara pendidik, Institusi pendidikan, dan pengembang teknologi untuk memastikan integrasi teknologi ini berjalan secara efektif dan etis.

Terlepas peran besar teknologi AIED penerapannya menghadapi berbagai hambatan teknis dan sosial. Kurangnya infrastruktur teknologi dan literasi AI di kalangan guru menjadi tantangan utama. Kemudian dari segi secara sosial, kekhawatiran tentang ketergantungan pada AI dan dampak terhadap peran guru harus menjadi perhatian. Untuk mengatasi tantangan ini, perlu strategi mitigasi seperti pengembangan pedoman etika, pelatihan intensif guru, dan investasi dalam infrastruktur teknologi harus diprioritaskan. Strategi tersebut mendukung implementasi integrasi generative AI berjalan berkelanjutan.

Penelitian ini memberikan pengetahuan penting tentang AIED dan generative AI dapat mengubah pendidikan STEM di tingkat sekolah menengah. Temuan memberikan panduan berdasarkan bukti bagi pendidik dan lembaga pendidikan untuk memanfaatkan teknologi AI dengan optimal. Penelitian ini juga menekankan perlunya eksplorasi terhadap dampak jangka panjang AIED, khususnya dalam konteks inklusi dan keadilan pendidikan.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil tinjauan literatur menunjukkan bahwa teknologi AIED mampu meningkatkan keterampilan berpikir kritis, kreativitas, dan kolaborasi siswa. kemudian, AIED memungkinkan personalisasi pembelajaran, menciptakan pengalaman belajar yang lebih inklusif dan adaptif untuk siswa dengan berbagai kebutuhan. penelitian menggarisbawahi keunggulan AIED dibandingkan metode pembelajaran tradisional, terutama dalam memberikan umpan balik real-time dan mendukung pembelajaran berbasis proyek yang relevan dengan kebutuhan abad ke-21 .

Dalam peneltian menemukan beberapa tantangan, seperti keterbatasan infrastruktur teknologi, rendahnya literasi AI di kalangan guru, serta masalah etika dan privasi data. Hambatan-hambatan ini menghambat adopsi AIED yang lebih luas di sekolah menengah. Strategi mitigasinya meliputi pelatihan intensif bagi guru, pengembangan kebijakan pendidikan yang mendukung, dan penyusunan pedoman etika untuk implementasi AIED yang bertanggung jawab. Kolaborasi antara pengembang teknologi, pendidik, dan lembaga diperlukan untuk mengatasi kesenjangan akses dan memastikan implementasi yang adil dan efektif .

Implikasi praktis Penelitian menunjukkan bahwa perlu kurikulum STEM yang fleksibel, memanfaatkan teknologi AI untuk mendukung pengembangan keterampilan siswa. Penelitian dimasa depan perlu mengeksplorasi dampak jangka panjang AIED, terutama dalam keberlanjutan pendidikan yang berbasis teknologi dan dampaknya terhadap sistem pendidikan di berbagai wilayah.

CONFLICT OF INTEREST

Penulis menyatakan bahwa tidak ada konflik kepentingan terkait dengan publikasi artikel ini. Seluruh proses penelitian, analisis, dan penulisan artikel dilakukan secara independen tanpa pengaruh dari pihak lain yang dapat mempengaruhi objektivitas dan integritas hasil penelitian.

ACKNOWLEDGEMENT

Penulis mengucapkan terima kasih kepada semua yang terlibat dalam penelitian ini atas dukungan yang telah diberikan selama pelaksanaan penulisan ini. Penghargaan kepada keluarga, rekan-rekan mahasiswa kelas B pascasarjana Pendidikan MIPA UNINDRA. Kami juga berterima kasih kepada para ahli yang telah memberikan masukan berharga selama proses penulisan.

DAFTAR PUSTAKA

- AlAli, R., & Wardat, Y. (2024). Opportunities and challenges of integrating generative artificial intelligence in education. *International Journal of Religion*, 5(7), 784–793. <https://doi.org/10.61707/8y29gv34>
- Chaudhry, M. A., Cukurova, M., & Luckin, R. (2022). A transparency index framework for AI in education. *EdArXiv*. <https://doi.org/10.35542/osf.io/bstcf>
- Dimitriadou, E., & Lanitis, A. (2023). A critical evaluation, challenges, and future perspectives of using artificial intelligence and emerging technologies in smart classrooms. *Smart Learning Environments*, 10(1), 12. <https://doi.org/10.1186/s40561-023-00231-3>
- Feng, T., & Li, Q. (2024). Artificial intelligence in education management: Opportunities, challenges, and solutions. *Frontiers in Business, Economics and Management*, 16(3), 49–54. <https://doi.org/10.54097/raxsbp45>
- Harry, A., & Sayudin, S. (2023). Role of AI in education. *Interdisciplinary Journal and Humanity (INJURITY)*, 2(3), 260–268. <https://doi.org/10.58631/injurity.v2i3.52>
- He, Y.-H., Heyes, E., & Hirst, E. (2023). Machine learning in physics and geometry (Version 2). *arXiv*. <https://doi.org/10.48550/ARXIV.2303.12626>
- Herawati, A. A., Yusuf, S., Ilfiandra, I., Taufik, A., & Ya Habibi, A. S. (2024). Exploring the role of artificial intelligence in education, students' preferences, and perceptions. *AL-ISHLAH: Jurnal Pendidikan*, 16(2), 1029–1040. <https://doi.org/10.35445/alishlah.v16i2.4784>
- Jayasuriya, S., Swisher, K., Rego, J. D., Chandran, S., Mativo, J., Kurz, T., Collins, C. E., Robinson, D. T., & Pidaparti, R. (2024). ImageSTEAM: Teacher professional development for integrating visual computing into middle school lessons. *Proceedings of the AAAI Conference on Artificial Intelligence*, 38(21), 23101–23109. <https://doi.org/10.1609/aaai.v38i21.30355>
- Kangiwa, B. I., Oludare, O. E., Nassarawa, H. S., Abubakar, N. S., Efeoma, E. L., & Enefolo, H. A. (2024). Leveraging artificial intelligence for enhancing entrepreneurship and creativity in STEM education. *Journal of Educational Research and Practice*. <https://berkeleypublications.com/bjerp/article/view/196>
- Karalekas, G., Vologiannidis, S., & Kalomiros, J. (2023). Teaching machine learning in K–12 using robotics. *Education Sciences*, 13(1), 67. <https://doi.org/10.3390/educsci13010067>
- Kyselova, O. (2024). Implementing project-based learning using artificial intelligence. *Проблеми Сучасних Трансформацій. Серія: Педагогіка*, 4. <https://doi.org/10.54929/2786-9199-2024-4-06-02>
- Lin, Y.-S., & Lai, Y.-H. (2021). Analysis of AI precision education strategy for small private online courses. *Frontiers in Psychology*, 12, 749629. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2021.749629>
- Mohamed, M. Z. B., Hidayat, R., Suhaizi, N. N. B., Sabri, N. B. M., Mahmud, M. K. H. B., & Baharuddin, S. N. B. (2022). Artificial intelligence in mathematics education: A

- systematic literature review. *International Electronic Journal of Mathematics Education*, 17(3), em0694. <https://doi.org/10.29333/iejme/12132>
- Molina, M. J., McGovern, A., Perez-Carrasquilla, J. S., & Tanamachi, R. L. (2024). Using generative artificial intelligence creatively in the classroom: Examples and lessons learned (Version 1). *arXiv*. <https://doi.org/10.48550/ARXIV.2409.05176>
- Muhammad, F., Matilda, O., & Chinatu. (2024). Revolutionizing education in the digital era: The role of AI in promoting inclusivity, equality, and ethical innovation. *The American Journal of Social Science and Education Innovations*, 6(9), 151–157. <https://doi.org/10.37547/tajssei/Volume06Issue09-16>
- Olufunmilayo, O. (2023). Innovative uses of technology for teaching and learning.
- Park, W., & Kwon, H. (2024). Implementing artificial intelligence education for middle school technology education in Republic of Korea. *International Journal of Technology and Design Education*, 34(1), 109–135. <https://doi.org/10.1007/s10798-023-09812-2>
- Saralar-Aras, I., & Schoenberg, Y. C. (2024). Unveiling the synergistic nexus: AI-driven coding integration in mathematics education for enhanced computational thinking and problem-solving. *The Mathematical Education*, 63(2), 233–254. <https://doi.org/10.7468/MATHEDU.2024.63.2.233>
- Shabalala, N. P. (2024). Elevating STEM learning: Unleashing the power of AI in open distance eLearning. *Research in Social Sciences and Technology*, 9(3), 269–288. <https://doi.org/10.46303/ressat.2024.59>
- Shodieva, M. (2024). The influence of artificial intelligence on education. <https://doi.org/10.5281/ZENODO.10647594>
- Smyrniou, Z., Liapakis, A., & Bougia, A. (2023). Ethical use of artificial intelligence and new technologies in education 5.0. *Journal of Artificial Intelligence, Machine Learning and Data Science*, 1(4), 119–124. <https://doi.org/10.51219/JAIMLD/Anastasios-Liapakis/15>
- Tapalova, O., & Zhiyenbayeva, N. (2022). Artificial intelligence in education: AIED for personalised learning pathways. *Electronic Journal of E-Learning*, 20(5), 639–653. <https://doi.org/10.34190/ejel.20.5.2597>
- Wang, J., & Li, J. (2024). Artificial intelligence empowering public health education: Prospects and challenges. *Frontiers in Public Health*, 12, 1389026. <https://doi.org/10.3389/fpubh.2024.1389026>
- Wu, T.-T., Lee, H.-Y., Wang, W.-S., Lin, C.-J., & Huang, Y.-M. (2023). Leveraging computer vision for adaptive learning in STEM education: Effect of engagement and self-efficacy. *International Journal of Educational Technology in Higher Education*, 20(1), 53. <https://doi.org/10.1186/s41239-023-00422-5>
- Yang, X., Wang, Q., & Lyu, J. (2024). Assessing ChatGPT's educational capabilities and application potential. *ECNU Review of Education*, 7(3), 699–713. <https://doi.org/10.1177/20965311231210006>