

PEMANFAATAN AI DALAM PEMBELAJARAN SAINS: STUDI KOMPARATIF INOVASI KURIKULUM INDONESIA DAN JEPANG

Fajar Ari Nugraha

Program Studi Teknik Informatika, Universitas AKI Semarang
e-mail: nugrahafajarari@gmail.com

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis secara komparatif integrasi kecerdasan buatan dalam pembelajaran sains pada kerangka kurikulum nasional Jepang dan Indonesia, dengan perhatian khusus pada dukungan terhadap pembelajaran mendalam. Penelitian ini menggunakan pendekatan kualitatif komparatif melalui analisis dokumen terhadap kebijakan kurikulum resmi, laporan pemerintah, dan literatur ilmiah yang berkaitan dengan pendidikan sains dan teknologi pendidikan. Analisis difokuskan pada dasar penyusunan kurikulum, tujuan, struktur, materi pembelajaran, metode pembelajaran, serta praktik asesmen. Hasil penelitian menunjukkan bahwa Jepang telah mengintegrasikan kecerdasan buatan secara sistemik dalam pembelajaran sains melalui kebijakan nasional yang konsisten dan dukungan infrastruktur digital yang kuat, sehingga memungkinkan pembelajaran berbasis data, simulasi ilmiah, dan asesmen formatif. Sementara itu, Indonesia melalui Kurikulum Merdeka menunjukkan potensi yang kuat untuk integrasi kecerdasan buatan karena desain kurikulumnya yang fleksibel, berpusat pada peserta didik, dan berbasis proyek, meskipun implementasinya masih bersifat implisit dan belum merata di berbagai konteks pendidikan. Penelitian ini menyimpulkan bahwa integrasi kecerdasan buatan yang efektif dalam pembelajaran sains memerlukan kesiapan teknologi, kerangka kebijakan yang jelas, panduan pedagogis, serta penguatan kapasitas guru agar pembelajaran mendalam dapat terwujud dan kualitas pembelajaran sains meningkat.

Kata kunci— Kecerdasan Buatan, Pembelajaran Sains, Pembelajaran Mendalam, Kurikulum Merdeka, Studi Komparatif

ABSTRACT

This study aims to comparatively analyze the integration of artificial intelligence in science learning within the national curriculum frameworks of Japan and Indonesia, with particular attention to the support of deep learning-oriented instruction. The research employed a qualitative comparative approach using document analysis of official curriculum policies, government reports, and scholarly literature related to science education and educational technology. The analysis focused on curriculum foundations, objectives, structure, learning content, instructional methods, and assessment practices. The results indicate that Japan has systematically integrated artificial intelligence into science learning through consistent national policies and strong digital infrastructure, enabling data-driven instruction, scientific simulation, and formative assessment. In contrast, Indonesia, through the Merdeka Curriculum, demonstrates strong potential for artificial intelligence integration

due to its flexible, student-centered, and project-based learning design, although implementation remains implicit and uneven across educational contexts. The study concludes that effective integration of artificial intelligence in science learning requires not only technological readiness but also explicit policy frameworks, pedagogical guidance, and teacher capacity development. These findings highlight the need for strategic policy development

to ensure that artificial intelligence meaningfully supports deep learning and improves the quality of science education in Indonesia.

Keywords— *Artificial Intelligence, Science Learning, Deep Learning, Merdeka Curriculum, Comparative Study*

PENDAHULUAN

Perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi telah membawa perubahan signifikan dalam berbagai aspek kehidupan, termasuk dalam bidang pendidikan sains. Transformasi digital mendorong pemanfaatan teknologi cerdas untuk mendukung proses pembelajaran yang lebih adaptif, kontekstual, dan bermakna. Salah satu teknologi yang berkembang pesat dan mulai memengaruhi praktik pendidikan adalah kecerdasan buatan, yang menawarkan potensi besar dalam personalisasi pembelajaran, analisis data belajar, dan penguatan proses berpikir tingkat tinggi peserta didik [1].

Dalam konteks pendidikan sains, pemanfaatan kecerdasan buatan menjadi semakin relevan seiring tuntutan penguasaan keterampilan abad ke-21, seperti berpikir kritis, pemecahan masalah, dan literasi sains. Pembelajaran sains tidak lagi cukup berfokus pada penguasaan konsep, tetapi perlu mengembangkan kemampuan peserta didik dalam memahami fenomena, menganalisis data, dan mengambil keputusan berbasis bukti ilmiah. Teknologi kecerdasan buatan berpotensi mendukung proses tersebut melalui pemodelan ilmiah, simulasi, serta analisis data eksperimen secara lebih mendalam [2].

Sejalan dengan hal tersebut, pendekatan pembelajaran mendalam menjadi salah satu orientasi utama dalam pengembangan kurikulum modern. Pembelajaran mendalam menekankan keterlibatan aktif peserta didik, pemahaman konseptual yang bermakna, serta kemampuan mentransfer pengetahuan ke konteks baru. Integrasi kecerdasan buatan dalam pembelajaran sains dinilai mampu memperkuat pendekatan ini, karena teknologi cerdas dapat memfasilitasi eksplorasi, refleksi, dan umpan balik berkelanjutan dalam proses belajar [1].

Berbagai negara telah merespons perkembangan ini melalui kebijakan kurikulum yang adaptif. Jepang merupakan salah satu negara yang secara konsisten mengintegrasikan teknologi digital, termasuk kecerdasan buatan, ke dalam sistem pendidikannya. Melalui dokumen nasional *Course of Study* dan visi *Society 5.0*, Jepang menempatkan teknologi sebagai sarana untuk mendukung pembelajaran berbasis data, pemecahan masalah, dan pengembangan kompetensi abad ke-21, termasuk dalam pembelajaran sains [3].

Integrasi kecerdasan buatan dalam kurikulum Jepang tidak dirumuskan sebagai mata pelajaran terpisah, melainkan diintegrasikan secara lintas mata pelajaran melalui pendekatan sains, teknologi, rekayasa, dan matematika. Dukungan kebijakan nasional seperti *GIGA School Program* memperkuat implementasi ini dengan menyediakan infrastruktur digital yang memungkinkan pemanfaatan teknologi cerdas secara sistemik dalam pembelajaran dan asesmen [4]. Pendekatan ini menjadikan Jepang sebagai contoh praktik baik dalam pengembangan pembelajaran sains berbasis teknologi.

Sementara itu, Indonesia juga tengah melakukan transformasi kurikulum melalui penerapan Kurikulum Merdeka yang pada tahun 2025 telah ditetapkan sebagai kurikulum nasional dan semakin meluas implementasinya di semua jenjang pendidikan. Kurikulum Merdeka menekankan pembelajaran mendalam, fleksibilitas kurikulum, serta penguatan kompetensi dan karakter peserta didik melalui Profil Pelajar Pancasila. Orientasi ini membuka peluang luas bagi pemanfaatan teknologi kecerdasan buatan dalam pembelajaran sains [5].

Meskipun demikian, integrasi kecerdasan buatan dalam pembelajaran sains di Indonesia masih bersifat implisit dan belum dirumuskan secara eksplisit dalam kerangka kurikulum nasional. Pemanfaatan teknologi cerdas lebih banyak bergantung pada inisiatif guru

dan kesiapan satuan pendidikan, sehingga implementasinya belum merata dan cenderung bervariasi antar wilayah. Kondisi ini menunjukkan adanya kesenjangan antara potensi kurikulum dan praktik pembelajaran di lapangan [6].

Beberapa penelitian di Indonesia menunjukkan bahwa pemanfaatan teknologi digital dalam pembelajaran sains dapat meningkatkan keterlibatan dan pemahaman peserta didik, namun masih menghadapi tantangan berupa keterbatasan kompetensi guru, infrastruktur, dan panduan pedagogis yang jelas. Tanpa kerangka kebijakan yang terarah, integrasi teknologi cerdas berisiko hanya bersifat teknis dan tidak berdampak signifikan terhadap kualitas pembelajaran [7].

Dalam konteks tersebut, kajian komparatif antara Jepang dan Indonesia menjadi penting untuk memahami bagaimana kebijakan kurikulum, pendekatan pedagogis, dan dukungan sistem memengaruhi integrasi kecerdasan buatan dalam pembelajaran sains. Perbandingan ini tidak dimaksudkan untuk meniru secara langsung, tetapi untuk mengidentifikasi praktik baik dan kesenjangan yang dapat menjadi dasar pengembangan kebijakan yang kontekstual di Indonesia [8].

Oleh karena itu, penelitian ini berfokus pada analisis komparatif integrasi kecerdasan buatan dalam pembelajaran sains pada kurikulum Jepang dan Kurikulum Merdeka di Indonesia, dengan penekanan pada dukungannya terhadap pembelajaran mendalam. Hasil kajian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi teoretis dan praktis bagi pengembangan kebijakan dan praktik pembelajaran sains berbasis teknologi cerdas di Indonesia.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan pendekatan kualitatif dengan desain studi komparatif. Data diperoleh melalui analisis dokumen kurikulum dan kebijakan pendidikan Indonesia dan Jepang, khususnya yang berkaitan dengan pembelajaran sains dan pemanfaatan teknologi AI. Sumber data meliputi dokumen Kurikulum Merdeka, capaian pembelajaran IPA, serta kebijakan pendukung transformasi digital pendidikan di Indonesia. Untuk Jepang, data diperoleh dari dokumen *Course of Study* dan kebijakan pendidikan berbasis *Society 5.0*. Pengumpulan data dilakukan melalui studi dokumentasi dengan cara mengidentifikasi, menginventarisasi, dan mengkaji dokumen kurikulum serta kebijakan pendidikan yang relevan. Dokumen dipilih berdasarkan kriteria keabsahan, relevansi dengan pembelajaran sains, serta keterkaitan dengan pemanfaatan teknologi digital dan AI.

Analisis data dilakukan menggunakan teknik analisis isi (*content analysis*) dan analisis komparatif. Tahapan analisis isi meliputi: (1) membaca dokumen secara menyeluruh; (2) melakukan proses pengodean (*coding*) terhadap istilah, konsep, dan kebijakan yang berkaitan dengan AI, teknologi digital, dan pembelajaran sains; (3) mengelompokkan kode ke dalam kategori tematik, seperti tujuan kurikulum, strategi pembelajaran, peran teknologi AI, dan dukungan kebijakan. Selanjutnya, analisis komparatif dilakukan dengan membandingkan hasil analisis isi antara kurikulum Indonesia dan Jepang berdasarkan kategori tematik yang telah ditetapkan. Analisis ini bertujuan untuk mengidentifikasi persamaan dan perbedaan pendekatan kedua negara dalam mengintegrasikan AI ke dalam pembelajaran sains, serta menelaah faktor kontekstual yang memengaruhinya.

Untuk menjaga keabsahan data, penelitian ini menerapkan triangulasi sumber dengan membandingkan berbagai dokumen resmi dan literatur pendukung. Selain itu, peneliti melakukan *cross-check* antar dokumen kebijakan dan hasil penelitian terdahulu untuk memastikan konsistensi dan kredibilitas temuan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Kurikulum Jepang

1. Dasar Penyusunan Kurikulum AI pada Pembelajaran Sains di Jepang

Dasar penyusunan kurikulum di Jepang secara nasional mengacu pada *Course of Study* (学習指導要領) yang diterbitkan oleh *Ministry of Education, Culture, Sports, Science and Technology* (MEXT). Dokumen ini menjadi acuan wajib bagi seluruh satuan pendidikan dalam merancang tujuan, konten, dan pendekatan pembelajaran, termasuk pada mata pelajaran sains. Revisi *Course of Study* tahun 2017–2018 menekankan penguatan literasi sains, kemampuan berpikir kritis, serta pemanfaatan teknologi digital dalam pembelajaran sebagai respons terhadap perubahan sosial dan perkembangan ilmu pengetahuan [3].

Arah pengembangan kurikulum tersebut tidak terlepas dari visi nasional Society 5.0, yang menempatkan teknologi cerdas seperti artificial intelligence (AI) dan big data sebagai sarana untuk menyelesaikan permasalahan sosial secara human-centered. Dalam konteks pendidikan, Society 5.0 mendorong integrasi teknologi ke dalam proses pembelajaran agar peserta didik mampu menghubungkan pengetahuan sains dengan penerapannya dalam kehidupan nyata berbasis data dan teknologi [9].

Integrasi AI dalam pembelajaran sains di Jepang tidak disusun sebagai mata pelajaran mandiri, melainkan diintegrasikan secara lintas mata pelajaran melalui pendekatan STEM dan pembelajaran berbasis data. Pendekatan ini sejalan dengan temuan riset pendidikan sains yang menyatakan bahwa integrasi teknologi akan lebih bermakna jika dikaitkan langsung dengan konteks domain ilmu, seperti sains, dibandingkan diajarkan secara terpisah sebagai kompetensi teknis semata [10].

2. Tujuan AI pada Pembelajaran Sains di Jepang

Tujuan utama integrasi AI dalam pembelajaran sains di Jepang adalah untuk mengembangkan literasi sains dan literasi data peserta didik agar mampu memahami, menganalisis, serta mengevaluasi informasi berbasis data secara kritis. Kurikulum sains diarahkan agar siswa tidak hanya menguasai konsep ilmiah, tetapi juga mampu menggunakan teknologi sebagai alat bantu dalam proses ilmiah seperti eksperimen, analisis data, dan pemodelan fenomena alam [1].

Selain itu, AI dimanfaatkan untuk mendukung pengembangan keterampilan abad ke-21, khususnya berpikir kritis, pemecahan masalah kompleks, dan pengambilan keputusan berbasis bukti. Penelitian menunjukkan bahwa penggunaan teknologi berbasis AI dalam pembelajaran sains dapat meningkatkan kemampuan analitis dan pemahaman konseptual siswa secara signifikan, terutama ketika digunakan dalam konteks pemecahan masalah autentik [11].

Tujuan kurikulum Jepang juga mencakup pembentukan sikap etis dan tanggung jawab dalam penggunaan teknologi. Pendidikan sains tidak hanya menekankan kecakapan teknologis, tetapi juga kesadaran terhadap implikasi sosial dan etika pemanfaatan AI, sejalan dengan prinsip human-centered AI yang banyak dikembangkan dalam kajian pendidikan dan filsafat teknologi [12].

3. Struktur AI pada Pembelajaran Sains di Jepang

Struktur kurikulum sains di Jepang bersifat fleksibel dan berbasis kompetensi. AI tidak tercantum sebagai kompetensi inti tersendiri, tetapi terintegrasi ke dalam tujuan pembelajaran, kegiatan eksperimen, serta proyek sains berbasis teknologi dan data.

Struktur ini memungkinkan guru menyesuaikan pembelajaran sesuai konteks lokal dan kebutuhan peserta didik tanpa keluar dari standar nasional kurikulum [3].

Dukungan struktural terhadap integrasi AI diperkuat melalui kebijakan GIGA School Program, yang menyediakan satu perangkat digital untuk setiap siswa dan memperluas akses terhadap platform pembelajaran digital. Infrastruktur ini menjadi fondasi penting bagi implementasi pembelajaran sains berbasis data dan teknologi AI di sekolah dasar dan menengah [13].

Struktur kurikulum tersebut mendorong pembelajaran lintas disiplin yang menghubungkan sains, teknologi, dan matematika secara terpadu. Penelitian menunjukkan bahwa struktur kurikulum semacam ini efektif dalam meningkatkan pemahaman konseptual siswa serta kemampuan menerapkan pengetahuan sains dalam konteks dunia nyata [14].

4. Materi AI pada Pembelajaran Sains di Jepang

Materi pembelajaran sains yang berkaitan dengan AI di Jepang mencakup penggunaan simulasi digital, pemodelan ilmiah, analisis data eksperimen, serta pemanfaatan sensor dan perangkat cerdas. Materi ini dirancang untuk membantu siswa memahami bagaimana data dikumpulkan, diolah, dan digunakan dalam proses ilmiah [15].

Pendekatan materi tersebut tidak bertujuan mengajarkan algoritma AI secara teknis, melainkan menekankan pemahaman konseptual tentang prinsip kerja AI dalam konteks sains. Hal ini sejalan dengan rekomendasi pendidikan AI untuk jenjang K–12 yang menekankan literasi AI berbasis konteks, bukan penguasaan teknis pemrograman [16]. Melalui materi berbasis data dan simulasi, siswa dilatih untuk mengenali pola, membuat prediksi, dan menarik kesimpulan ilmiah dari data. Pendekatan ini mendukung pengembangan literasi data sebagai bagian integral dari literasi sains modern [17].

5. Metode Pembelajaran Kurikulum AI pada Pembelajaran Sains di Jepang

Metode pembelajaran sains di Jepang menekankan pendekatan *inquiry-based learning*, *problem-based learning*, dan *project-based learning* yang diperkaya dengan teknologi digital. AI digunakan sebagai alat bantu untuk eksplorasi data, eksperimen virtual, dan visualisasi fenomena sains, sehingga pembelajaran menjadi lebih interaktif dan kontekstual [10].

Pembelajaran berbasis proyek memungkinkan siswa bekerja secara kolaboratif dalam memecahkan masalah nyata yang berkaitan dengan lingkungan dan kehidupan sehari-hari. Pendekatan ini terbukti efektif dalam meningkatkan keterampilan berpikir tingkat tinggi dan pemahaman konseptual dalam pembelajaran sains [18]. Dalam konteks ini, peran guru bergeser menjadi fasilitator pembelajaran yang membimbing penggunaan teknologi secara reflektif dan bermakna. Perubahan peran guru ini sejalan dengan paradigma pedagogi digital yang menekankan pembelajaran berpusat pada siswa dan pemanfaatan data untuk pengambilan keputusan instruksional [19].

6. Asesmen Kurikulum AI pada Pembelajaran Sains di Jepang

Asesmen dalam kurikulum sains Jepang menekankan asesmen formatif dan autentik yang dilakukan secara berkelanjutan. Teknologi digital dan sistem berbasis data digunakan untuk memantau perkembangan belajar siswa serta memberikan umpan balik yang cepat dan personal [1].

Asesmen tidak hanya mengukur penguasaan konsep sains, tetapi juga keterampilan proses sains, kemampuan analisis data, dan pemecahan masalah. Penelitian menunjukkan bahwa asesmen berbasis teknologi dan AI mampu memberikan

gambaran yang lebih komprehensif tentang kemampuan siswa dibandingkan asesmen konvensional [20]. Selain itu, asesmen juga diarahkan untuk menilai aspek etika dan tanggung jawab dalam penggunaan teknologi. Pendekatan ini penting untuk memastikan bahwa pemanfaatan AI dalam pendidikan tidak hanya efektif secara akademik, tetapi juga selaras dengan nilai-nilai kemanusiaan dan sosial [21].

B. Kurikulum Indonesia

1. Dasar Penyusunan Kurikulum AI pada Pembelajaran Sains di Indonesia

Penyusunan Kurikulum Merdeka dilandasi oleh kebutuhan strategis untuk meningkatkan kualitas sumber daya manusia Indonesia agar mampu beradaptasi dengan perkembangan ilmu pengetahuan, teknologi, dan tantangan global abad ke-21, termasuk transformasi digital dan kecerdasan buatan [22].

Salah satu karakter utama Kurikulum Merdeka adalah penekanan pada pembelajaran mendalam (*deep learning*), yaitu pembelajaran yang mendorong pemahaman konseptual yang bermakna, kemampuan bernalar tingkat tinggi, refleksi, dan transfer pengetahuan ke konteks nyata. Dalam konteks pembelajaran sains, pendekatan *deep learning* menuntut proses belajar yang berbasis eksplorasi fenomena, analisis data, pemecahan masalah, dan pengambilan keputusan berbasis bukti ilmiah [5].

Meskipun Artificial Intelligence (AI) belum dirumuskan sebagai mata pelajaran atau struktur kurikulum tersendiri, berbagai kebijakan pendukung seperti transformasi digital, penguatan literasi digital, *computational thinking*, serta pemanfaatan platform pembelajaran adaptif menjadi landasan awal integrasi AI dalam pembelajaran sains. Dalam kerangka Kurikulum Merdeka, AI diposisikan sebagai alat pendukung pembelajaran mendalam, bukan sebagai konten teknis yang berdiri sendiri.

2. Tujuan Kurikulum AI pada Pembelajaran Sains di Indonesia

Tujuan integrasi AI dalam pembelajaran sains pada Kurikulum Merdeka diarahkan untuk mendukung terwujudnya pembelajaran mendalam yang berpusat pada peserta didik. AI dimanfaatkan untuk membantu siswa memahami konsep sains secara lebih komprehensif melalui visualisasi data, simulasi, dan analisis fenomena yang sulit diamati secara langsung [5].

Selain itu, AI berperan dalam mendukung diferensiasi pembelajaran, yaitu penyesuaian proses belajar berdasarkan kesiapan, minat, dan kebutuhan peserta didik. Teknologi berbasis AI memungkinkan guru memberikan pengalaman belajar yang lebih personal dan kontekstual, sehingga siswa dapat mencapai pemahaman yang lebih mendalam terhadap konsep sains. Tujuan jangka panjang dari integrasi AI adalah menyiapkan peserta didik agar memiliki kesiapan menghadapi perkembangan sains dan teknologi di masa depan. Pendidikan sains tidak hanya menekankan penguasaan konsep, tetapi juga kemampuan bernalar kritis, pemecahan masalah kompleks, dan literasi teknologi yang selaras dengan tuntutan masyarakat berbasis pengetahuan dan data [1].

3. Struktur Kurikulum AI pada Pembelajaran Sains di Indonesia

Struktur Kurikulum Merdeka disusun berdasarkan Capaian Pembelajaran (CP) per fase, yang memberikan fleksibilitas tinggi bagi satuan pendidikan dalam merancang pembelajaran. Struktur ini sangat mendukung implementasi pembelajaran mendalam karena memberi ruang bagi guru untuk mengembangkan pembelajaran berbasis

eksplorasi, proyek, dan refleksi tanpa terikat secara kaku pada konten yang bersifat prosedural [22].

Dalam struktur tersebut, AI tidak hadir sebagai mata pelajaran atau kompetensi khusus, melainkan terintegrasi secara implisit melalui pembelajaran berbasis proyek, pemanfaatan platform digital, serta kegiatan analisis data dalam pembelajaran sains. Pendekatan ini memungkinkan AI berfungsi sebagai pendukung proses kognitif tingkat tinggi, seperti analisis, sintesis, dan evaluasi [7].

Namun demikian, fleksibilitas struktur kurikulum juga menimbulkan tantangan dalam implementasi. Tanpa panduan operasional yang eksplisit terkait AI, pemanfaatan teknologi dalam pembelajaran sains sangat bergantung pada kapasitas guru dan kesiapan sekolah. Hal ini menyebabkan variasi kualitas integrasi AI antar satuan pendidikan [6].

4. Materi Kurikulum AI pada Pembelajaran Sains di Indonesia

Materi pembelajaran sains dalam Kurikulum Merdeka yang berkaitan dengan AI mencakup pemanfaatan media digital, simulasi sains, laboratorium virtual, serta pengolahan dan analisis data hasil percobaan. Materi tersebut dirancang untuk mendukung pembelajaran mendalam dengan menekankan pemahaman konsep, bukan sekadar hafalan fakta [5].

Pada jenjang tertentu, terutama SMP dan SMA, pengenalan *computational thinking* dan dasar *coding* mulai dimanfaatkan sebagai fondasi pemahaman sistem digital dan teknologi cerdas. Penelitian di jurnal pendidikan sains Indonesia menunjukkan bahwa *computational thinking* berkontribusi positif terhadap kemampuan pemecahan masalah ilmiah dan penalaran siswa. Namun, materi AI dalam pembelajaran sains di Indonesia masih bersifat implisit dan aplikatif, belum membahas AI sebagai konsep teoretis secara sistematis. Pendekatan ini sejalan dengan orientasi Kurikulum Merdeka yang menempatkan AI sebagai alat untuk memperdalam pemahaman sains, bukan sebagai objek kajian teknis yang terpisah [5].

5. Metode Pembelajaran Kurikulum AI pada Pembelajaran Sains di Indonesia

Metode pembelajaran dalam Kurikulum Merdeka menekankan *Project-Based Learning* (PjBL), *Problem-Based Learning* (PBL), dan pembelajaran inkuiri yang sangat selaras dengan prinsip pembelajaran mendalam. Metode ini mendorong siswa untuk mengeksplorasi fenomena sains, merumuskan masalah, mengumpulkan dan menganalisis data, serta merefleksikan hasil pembelajaran [5].

Dalam konteks pemanfaatan AI, teknologi digunakan sebagai alat bantu untuk simulasi eksperimen, analisis data, dan visualisasi konsep abstrak dalam sains. Studi di jurnal Indonesia menunjukkan bahwa penggunaan media digital interaktif dan simulasi mampu meningkatkan keterlibatan kognitif dan pemahaman konseptual siswa dalam pembelajaran IPA. Peran guru dalam pembelajaran ini menjadi sangat krusial sebagai fasilitator dan perancang pengalaman belajar mendalam. Guru bertugas memastikan bahwa pemanfaatan teknologi, termasuk AI, tetap selaras dengan tujuan pembelajaran, nilai pedagogis, dan penguatan karakter Profil Pelajar Pancasila [5].

6. Asesmen Kurikulum AI pada Pembelajaran Sains di Indonesia

Asesmen dalam Kurikulum Merdeka menekankan asesmen diagnostik, formatif, dan sumatif yang berkelanjutan untuk mendukung pembelajaran mendalam. Asesmen dirancang tidak hanya untuk mengukur hasil akhir, tetapi juga untuk memantau proses berpikir, pemahaman konsep, dan perkembangan kompetensi siswa [22].

Pemanfaatan teknologi digital mulai digunakan untuk mendukung asesmen formatif, seperti kuis daring, portofolio digital, dan umpan balik berbasis data. Teknologi ini memungkinkan guru memperoleh informasi yang lebih komprehensif mengenai perkembangan belajar siswa dan menyesuaikan strategi pembelajaran secara adaptif. Namun, pemanfaatan AI secara spesifik dalam asesmen pembelajaran sains masih belum terstandarisasi secara nasional. Implementasinya sangat bergantung pada inovasi guru dan kesiapan infrastruktur sekolah, sehingga diperlukan kebijakan lanjutan dan pengembangan kapasitas pendidik agar AI dapat dimanfaatkan secara optimal untuk mendukung asesmen pembelajaran mendalam yang adil dan bermakna [23].

C. Sintesis Komparatif Kritis Integrasi AI dalam Pembelajaran Sains Jepang dan Indonesia

Analisis komparatif integrasi artificial intelligence (AI) dalam pembelajaran sains pada kurikulum Jepang dan Indonesia, Tabel 1 menyajikan sintesis kritis yang memuat kekuatan (*strength*), kesenjangan (*gap*), dan implikasi (*implication*) kebijakan dalam konteks pembelajaran mendalam (*deep learning*).

Tabel 1. Sintesis Komparatif Kritis Integrasi AI dalam Pembelajaran Sains Jepang dan Indonesia

| Aspek | Uraian |
|------------------------------|---|
| Kekuatan (<i>strength</i>) | Jepang menunjukkan kekuatan pada konsistensi kebijakan pendidikan dan kesiapan infrastruktur digital yang memungkinkan integrasi artificial intelligence (AI) dalam pembelajaran sains berlangsung secara sistemik. Melalui <i>Course of Study</i> yang selaras dengan visi <i>Society 5.0</i> , AI dimanfaatkan untuk mendukung pembelajaran mendalam (<i>deep learning</i>), khususnya dalam analisis data ilmiah, simulasi eksperimen, dan asesmen formatif berbasis data [3,1] Indonesia memiliki kekuatan pada desain Kurikulum Merdeka yang fleksibel dan berorientasi pada pembelajaran mendalam, kontekstual, serta berbasis proyek, sehingga memberikan ruang bagi guru dan satuan pendidikan untuk memanfaatkan AI sebagai alat pedagogis inovatif dalam pembelajaran sains, terutama untuk diferensiasi pembelajaran dan penguatan pemahaman konseptual peserta didik [5]. |
| Kesenjangan (<i>gap</i>) | Kesenjangan utama antara Jepang dan Indonesia terletak pada tingkat kelembagaan integrasi AI dalam pembelajaran sains. Jepang telah memiliki kerangka kebijakan, dukungan infrastruktur, dan praktik pembelajaran berbasis teknologi yang relatif terstandarisasi sehingga pemanfaatan AI menjadi bagian dari ekosistem pembelajaran nasional. Sebaliknya, di Indonesia integrasi AI masih bersifat implisit dan belum didukung oleh kerangka nasional yang eksplisit, sehingga implementasinya sangat bergantung pada inisiatif guru dan kesiapan sekolah, yang berdampak pada variasi kualitas antar satuan pendidikan dan wilayah [3,6,23,7]. |

| | |
|-------------------------|--|
| Implikasi (implication) | Temuan komparatif ini mengindikasikan perlunya pengembangan kerangka kebijakan integrasi AI dalam pembelajaran sains di Indonesia yang selaras dengan prinsip pembelajaran mendalam Kurikulum Merdeka. Kerangka tersebut perlu mencakup panduan pedagogis pemanfaatan AI untuk eksplorasi konsep sains, analisis data, dan refleksi pembelajaran, serta penguatan kompetensi guru dalam literasi AI dan pedagogi digital. Selain itu, pengembangan asesmen berbasis data dan teknologi AI menjadi langkah strategis untuk mendukung pembelajaran mendalam yang berkelanjutan dan peningkatan kualitas pembelajaran sains secara sistemik [1,17,5]. |
|-------------------------|--|

Berdasarkan sintesis yang disajikan pada Tabel 1, terlihat bahwa keberhasilan integrasi AI dalam pembelajaran sains tidak semata ditentukan oleh ketersediaan teknologi, tetapi sangat bergantung pada konsistensi kebijakan, kejelasan kerangka pedagogis, dan kesiapan ekosistem pendidikan. Jepang menunjukkan keunggulan pada aspek kelembagaan dan infrastruktur yang memungkinkan AI dimanfaatkan secara sistemik untuk mendukung pembelajaran mendalam, sementara Indonesia memiliki potensi kuat melalui fleksibilitas Kurikulum Merdeka yang berorientasi pada pembelajaran kontekstual dan berbasis proyek. Namun, ketiadaan kerangka nasional yang eksplisit terkait integrasi AI di Indonesia menimbulkan kesenjangan implementasi antar satuan pendidikan. Oleh karena itu, pengembangan kebijakan integrasi AI yang selaras dengan prinsip pembelajaran mendalam, disertai penguatan kompetensi guru dan pengembangan asesmen berbasis data, menjadi langkah strategis untuk memastikan pemanfaatan AI berkontribusi nyata terhadap peningkatan kualitas pembelajaran sains secara berkelanjutan [1,17,5].

KESIMPULAN

Integrasi *artificial intelligence* (AI) dalam pembelajaran sains menunjukkan pendekatan yang berbeda antara Jepang dan Indonesia. Jepang telah mengembangkan integrasi AI secara sistemik melalui kebijakan nasional yang konsisten, dukungan infrastruktur digital yang kuat, serta penyelarasan kurikulum dengan visi Society 5.0, sehingga AI berfungsi sebagai pendukung pembelajaran mendalam, analisis data ilmiah, dan asesmen formatif berbasis data. Pendekatan ini memungkinkan pembelajaran sains yang lebih personal, kontekstual, dan berorientasi pada pemecahan masalah nyata.

Indonesia, melalui Kurikulum Merdeka yang telah ditetapkan sebagai kurikulum nasional, memiliki fondasi yang kuat untuk pengembangan pembelajaran sains berbasis AI karena menekankan pembelajaran mendalam, fleksibilitas kurikulum, dan penguatan kompetensi abad ke-21. Namun, integrasi AI dalam pembelajaran sains di Indonesia masih bersifat implisit dan belum didukung oleh kerangka kebijakan nasional yang eksplisit, sehingga implementasinya belum merata dan sangat bergantung pada kesiapan guru dan satuan pendidikan.

Secara keseluruhan, hasil kajian ini menunjukkan bahwa keberhasilan integrasi AI dalam pembelajaran sains tidak hanya ditentukan oleh ketersediaan teknologi, tetapi juga oleh konsistensi kebijakan, kejelasan kerangka pedagogis, serta kesiapan sumber daya manusia. Pembelajaran mendalam berbasis AI menuntut pendekatan yang terencana dan berkelanjutan agar benar-benar berdampak pada peningkatan kualitas pembelajaran sains.

SARAN

Pemerintah Indonesia perlu merumuskan kerangka kebijakan nasional yang secara eksplisit mengatur integrasi AI dalam pembelajaran sains, selaras dengan prinsip pembelajaran mendalam Kurikulum Merdeka. Kerangka tersebut perlu mencakup panduan pedagogis, pemanfaatan AI untuk analisis data dan eksperimen sains, serta pengembangan asesmen berbasis data yang mendukung pembelajaran bermakna.

Satuan pendidikan dan pendidik disarankan untuk memanfaatkan fleksibilitas Kurikulum Merdeka dengan mengintegrasikan AI secara kontekstual melalui pembelajaran berbasis proyek, inkuiri, dan pemecahan masalah. Penguatan kompetensi guru dalam literasi AI dan pedagogi digital menjadi prasyarat penting agar pemanfaatan AI tidak bersifat teknis semata, tetapi mampu mendorong proses berpikir tingkat tinggi peserta didik.

Penelitian selanjutnya disarankan untuk mengkaji implementasi empiris pemanfaatan AI dalam pembelajaran sains di berbagai jenjang pendidikan di Indonesia, termasuk

dampaknya terhadap pembelajaran mendalam, literasi sains, dan hasil belajar peserta didik. Kajian longitudinal dan berbasis kelas diperlukan untuk memberikan bukti empiris yang lebih kuat sebagai dasar pengembangan kebijakan dan praktik pembelajaran sains berbasis AI di masa depan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis juga mengucapkan terima kasih kepada para peneliti dan akademisi yang karyanya dijadikan sumber rujukan, sehingga memperkaya kajian teoretis dan analisis dalam artikel ini. Selain itu, apresiasi disampaikan kepada pengelola jurnal dan mitra bestari (reviewer) atas masukan, saran, dan evaluasi yang konstruktif demi penyempurnaan artikel ini.

Semoga hasil penelitian ini dapat memberikan kontribusi yang bermanfaat bagi pengembangan kebijakan dan praktik pembelajaran sains berbasis teknologi kecerdasan buatan, khususnya dalam mendukung pembelajaran mendalam di Indonesia.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Organisation for Economic Co-operation and Development, 2021, *Artificial Intelligence in Education: Challenges and Opportunities*, OECD Publishing.
- [2] Zhai, X., Wang, M., and Ghani, U., 2021, Using Artificial Intelligence to Support Science Learning: A Systematic Review, *Computers & Education*, vol 168, hal 104192.
- [3] Ministry of Education, Culture, Sports, Science and Technology, 2018, *Course of Study for Elementary and Secondary Schools*, MEXT Japan.
- [4] Ministry of Education, Culture, Sports, Science and Technology, 2019, *GIGA School Program: Toward Realizing a One-Student-One-Device Environment*, MEXT Japan.
- [5] Kementerian Pendidikan, Kebudayaan, Riset, dan Teknologi, 2024, *Naskah Akademik Pembelajaran Mendalam (Deep Learning)*, Kemendikbudristek Republik Indonesia.
- [6] Sukirman, S., Subali, B., and Suyanto, S., 2021, Tantangan dan Peluang Pemanfaatan Teknologi Digital dalam Pembelajaran IPA, *Cakrawala Pendidikan*, vol 40, hal 345–357.
- [7] Rahmawati, Y., and Ridwan, A., 2022, Integrasi Teknologi Digital dalam Pembelajaran IPA pada Kurikulum Merdeka, *Jurnal Pendidikan IPA Indonesia*, vol 11, hal 456–467.
- [8] Organisation for Economic Co-operation and Development, 2023, *Shaping Digital Education: Enabling Factors for Quality, Equity and Efficiency*, OECD Publishing.
- [9] Cabinet Office of Japan, 2021, *Society 5.0*, Cabinet Office of Japan.
- [10] Holmes, W., Bialik, M., and Fadel, C., 2019, *Artificial Intelligence in Education: Promises and Implications for Teaching and Learning*, Center for Curriculum Redesign.
- [11] Zhai, X., He, P., and Krajcik, J., 2020, Applying Machine Learning to Support Scientific Argumentation, *Computers & Education*, vol 150, hal 103833.

- [12] Floridi, L., Cowls, J., Beltrametti, M., Chatila, R., Chazerand, P., Dignum, V., Luetge, C., Madelin, R., Pagallo, U., Rossi, F., Schafer, B., Valcke, P., and Vayena, E., 2018, AI4People—An Ethical Framework for a Good AI Society: Opportunities, Risks, Principles, and Recommendations, *Minds and Machines*, vol 28, hal 689–707.
- [13] Organisation for Economic Co-operation and Development, 2020, *Education in the Digital Age*, OECD Publishing.
- [14] English, L. D., 2016, STEM Education K–12: Perspectives on Integration, *International Journal of STEM Education*, vol 3, hal 1–8.
- [15] Long, D., and Magerko, B., 2020, What Is AI Literacy? Competencies and Design Considerations, *Proceedings of the CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, hal 1–16.
- [16] Touretzky, D., Gardner-McCune, C., Martin, F., and Seehorn, D., 2019, Envisioning AI for K–12: What Should Every Child Know about AI?, *AI Magazine*, vol 40, hal 7–24.
- [17] Zhai, X., 2022, Artificial Intelligence and Science Education: Opportunities, Challenges, and Future Directions, *Journal of Research in Science Teaching*, vol 59, hal 512–540.
- [18] Bybee, R. W., 2013, *The Case for STEM Education: Challenges and Opportunities*, National Science Teachers Association Press.
- [19] Redecker, C., 2017, *European Framework for the Digital Competence of Educators: DigCompEdu*, Publications Office of the European Union.
- [20] Shute, V. J., and Rahimi, S., 2017, Review of Computer-Based Assessment for Learning in Elementary and Secondary Education, *Educational Measurement: Issues and Practice*, vol 36, hal 20–30.
- [21] Williamson, B., Eynon, R., and Potter, J., 2020, Pandemic Politics, Pedagogies and Practices: Digital Technologies and Distance Education during the Coronavirus Emergency, *Learning, Media and Technology*, vol 45, hal 107–114.
- [22] Kementerian Pendidikan, Kebudayaan, Riset, dan Teknologi, 2023, *Profil Pelajar Pancasila*, Kemendikbudristek Republik Indonesia.
- [23] Rahman, A., Mardapi, D., and Kartowagiran, B., 2022, Asesmen Pembelajaran Berbasis Teknologi dalam Pendidikan Sains, *Jurnal Kependidikan*, vol 52, hal 1–14.