

**ANALISIS PRAKTIK PEMBELAJARAN IPA BERBANTUAN AI:
PERSPEKTIF *SCIENTIFIC LITERACY* DAN *CRITICAL THINKING***

Pipit Indriyani
Universitas Indraprasta PGRI
pipitsanjaya2024@gmail.com

Abstrak

Pemanfaatan *Artificial Intelligence* (AI), termasuk *generative AI*, mulai menjadi bagian dari praktik pembelajaran IPA di sekolah. Meski demikian, integrasi AI tidak selalu otomatis memperkuat kualitas penalaran ilmiah. Dalam kondisi tertentu justru berpotensi mendorong ketergantungan pada jawaban instan jika tidak disertai desain tugas dan asesmen yang tepat. Artikel ini bertujuan menganalisis praktik pembelajaran IPA berbantuan AI dengan menempatkan *scientific literacy* dan *critical thinking* sebagai lensa evaluasi utama. Metode yang digunakan ialah *literature review* dengan sintesis tematik terhadap sejumlah dokumen rujukan (artikel penelitian, *review*, pengembangan perangkat, studi guru, dan dokumen kebijakan). Hasil kajian menunjukkan praktik AI dalam pembelajaran IPA muncul dalam bentuk integrasi AI pada pelajaran sains dan pengalaman guru, perangkat pembelajaran berbasis AI (modul *e-learning*), *hypercontent* E-LKPD, *multimedia tool*, personalisasi pembelajaran, teknologi digital pendukung proses inkuiri (*mobile augmented reality*, *virtual reality*, *interactive content*), serta isu kesiapan transformasi digital guru dan tata kelola kebijakan/etik. Praktik yang paling konsisten mendukung *scientific literacy* dan *critical thinking* adalah penggunaan AI sebagai *scaffold* untuk interpretasi data, argumentasi berbasis bukti, dan verifikasi klaim, bukan sebagai pengganti proses bernalar. Artikel ini merekomendasikan penguatan desain tugas investigatif, rubrik asesmen berorientasi proses, serta pelatihan guru terkait literasi AI, etika, dan privasi agar penggunaan AI selaras dengan tujuan pembelajaran IPA.

Kata kunci: *Artificial Intelligence*; pembelajaran IPA; *scientific literacy*; *critical thinking*; *literature review*; *generative AI*.

Article History

Received: December 2025

Reviewed: Januari 2026

Published: January 2026

Plagiarism Checker No 234

Prefix DOI: Prefix DOI:

10.8734/SINDORO.v1i2.365

Copyright: Author

Publish by: SINDORO



This work is licensed under a [Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/).

PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi digital dan *Artificial Intelligence (AI)* telah mendorong perubahan signifikan dalam praktik pembelajaran di sekolah, termasuk pada pembelajaran IPA. Perubahan ini tidak hanya berkaitan dengan penggunaan perangkat atau aplikasi baru, tetapi juga memengaruhi cara pengetahuan diproduksi, diakses, dan divalidasi dalam proses belajar. Dalam konteks IPA, perubahan tersebut bersifat krusial sekaligus sensitif karena pembelajaran IPA tidak hanya berorientasi pada perolehan jawaban yang benar, melainkan menuntut keterlibatan peserta didik dalam proses ilmiah seperti mengajukan pertanyaan, merumuskan dugaan, menguji melalui data atau eksperimen, serta menyusun argumen berbasis bukti. Tinjauan literatur sistematis mengenai penerapan kecerdasan buatan dalam proses pembelajaran sains di tingkat sekolah menunjukkan bahwa praktik *AI* telah berkembang dalam berbagai bentuk, mulai dari dukungan asesmen dan umpan balik, pembelajaran adaptif dan personalisasi, hingga pendekatan yang lebih kompleks seperti analisis data dan pemodelan prediktif. Namun, kajian tersebut juga menegaskan bahwa bukti transformasi pembelajaran yang benar-benar holistik masih terus berkembang, terutama ketika keberhasilan penggunaan *AI* lebih sering diukur dari sisi efektivitas teknis atau peningkatan nilai, bukan dari kualitas proses bernalar ilmiah peserta didik.¹

Seiring dengan itu, kemunculan *generative AI* menambah dinamika baru dalam pembelajaran. *Rapid review* mengenai dampak ChatGPT dalam pendidikan memperlihatkan bahwa teknologi ini dapat memberikan dukungan dalam proses belajar, tetapi sekaligus memunculkan risiko terkait akurasi informasi, bias, integritas akademik, serta perlunya penyesuaian strategi asesmen agar tetap mengukur proses berpikir, bukan sekadar produk akhir.² Dalam pembelajaran IPA, risiko tersebut memiliki dimensi epistemik yang kuat, karena keluaran *AI* yang tampak koheren dan meyakinkan tidak selalu didukung oleh bukti ilmiah yang valid. Apabila peserta didik tidak dibiasakan untuk melakukan verifikasi, evaluasi klaim, dan penelusuran bukti, penggunaan *AI* justru berpotensi melemahkan kebiasaan berpikir ilmiah dan kritis.³ Oleh karena itu, integrasi *AI* dalam pembelajaran IPA tidak dapat dilepaskan dari upaya menjaga dan memperkuat kualitas penalaran ilmiah.

Dalam artikel ini, kebermaknaan praktik pembelajaran IPA berbantuan *AI* dievaluasi melalui dua lensa utama, yaitu literasi secara saintifik dan berpikir kritis. Sejumlah penelitian berbasis teknologi interaktif menunjukkan bahwa literasi sains peserta didik dapat meningkat ketika teknologi dimanfaatkan untuk mendukung pemahaman konsep dan proses belajar yang lebih mandiri. Namun, peningkatan tersebut tidak selalu merata pada setiap dimensi literasi sains, sehingga desain aktivitas pembelajaran tetap menjadi faktor penentu apakah teknologi benar-benar memperkaya proses ilmiah atau sekadar mempercepat akses informasi.⁴ Di sisi lain, pengembangan modul *e-learning* berbasis *AI* juga diarahkan untuk meningkatkan *critical thinking* dan keterampilan komunikasi, yang menunjukkan bahwa perangkat berbantuan *AI* dapat berfungsi sebagai penggerak pedagogik apabila dirancang secara konsisten dengan tujuan pembelajaran.⁵ Dengan demikian, fokus analisis tidak hanya terletak pada jenis *AI* yang

¹ Sri Murwani, Syarifuddin, and Riswan Jaenudin, "Development of AI-Based Hypercontent E-LKPD for IPAS Learning in Grade V Elementary School," *Jurnal Penelitian Pendidikan IPA* 11, no. 8 (August 25, 2025): 1167–73, doi:10.29303/jppipa.v11i8.12403.

² Chung Kwan Lo, "What Is the Impact of ChatGPT on Education? A Rapid Review of the Literature," *Education Sciences* (MDPI, April 1, 2023), doi:10.3390/educsci13040410.

³ Ibid.

⁴ Indrawati Wilujeng et al., "THE EFFECTIVENESS OF H5P-ASISTED DIFFERENTIATED-INDEPENDENT LEARNING MODEL TO INCREASE LOW-ABILITY STUDENTS' SCIENTIFIC LITERACY," *Jurnal Pendidikan IPA Indonesia* 14, no. 1 (March 1, 2025): 32–41, doi:10.15294/jpii.v14i1.19560.

⁵ Azizah S Pairunan et al., "Development of Artificial Intelligence Based E-Learning Modules to Improve Students' Critical Thinking and Communication Skills," *Jurnal Penelitian Pendidikan IPA* 11, no. 9 (2025): 993–1005, doi:10.29303/jppipa.v11i9.12050.

digunakan, tetapi pada bagaimana AI tersebut diintegrasikan ke dalam aktivitas IPA yang menuntut analisis, evaluasi, dan refleksi.

Meskipun demikian, kajian terhadap korpus dokumen yang tersedia memperlihatkan adanya kebutuhan untuk memetakan praktik pembelajaran IPA berbantuan AI secara lebih sistematis dan operasional. Berbagai praktik AI yang dilaporkan dalam literatur belum selalu ditautkan secara eksplisit dengan indikator literasi saintifik dan kemampuan berpikir kritis, sehingga sulit dibaca sebagai rujukan praktis bagi guru dan sekolah.⁶ Selain itu, keberhasilan implementasi AI sangat dipengaruhi oleh kesiapan guru dan ekosistem sekolah. Studi tentang pengalaman guru yang mengintegrasikan AI ke dalam pelajaran sains menunjukkan bahwa keterpaduan dengan kurikulum dan kemudahan operasional di kelas menjadi faktor penting dalam penerimaan dan keberlanjutan praktik.⁷ Pada level yang lebih luas, model kesiapan transformasi digital guru IPA juga mengungkap adanya variasi kesiapan antara konteks urban dan rural, yang menuntut strategi penguatan literasi digital dan dukungan perubahan yang kontekstual.⁸ Temuan-temuan tersebut mengindikasikan bahwa analisis praktik pembelajaran IPA berbantuan AI perlu mempertimbangkan tidak hanya aspek pedagogik, tetapi juga faktor manusia dan sistem yang melingkupinya.

Berdasarkan latar belakang tersebut, permasalahan utama dalam penelitian ini adalah bagaimana praktik pembelajaran IPA berbantuan AI dipetakan dan dievaluasi dari perspektif literasi saintifik, serta faktor-faktor apa saja yang memengaruhi keberhasilan implementasinya di lingkungan sekolah. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis praktik-praktik tersebut melalui pendekatan kajian pustaka berbasis korpus dokumen yang disediakan, dengan fokus pada identifikasi bentuk praktik AI, pemetaan keterkaitannya dengan indikator literasi sains dan berpikir kritis, serta analisis faktor pendukung dan penghambat implementasi, khususnya yang berkaitan dengan kesiapan guru, desain pembelajaran, serta kebijakan dan etika penggunaan AI di sekolah.⁹

Hasil penelitian ini diharapkan memberikan kontribusi teoretis dan praktis bagi pengembangan pembelajaran IPA di era digital. Secara teoretis, penelitian ini memperkaya kajian tentang integrasi AI dalam pendidikan sains dengan menempatkan literasi saintek sebagai lensa analisis utama, sehingga memperjelas hubungan antara inovasi teknologi dan kualitas proses ilmiah dalam pembelajaran.¹⁰ Secara praktis, temuan penelitian ini diharapkan dapat menjadi rujukan bagi guru IPA dalam merancang pembelajaran berbantuan AI yang tidak hanya inovatif secara teknologi, tetapi juga mampu memperkuat penalaran ilmiah dan berpikir kritis peserta didik. Selain itu, pada tingkat sekolah dan pengambil kebijakan, hasil penelitian ini dapat dimanfaatkan sebagai dasar pertimbangan dalam penyusunan program pelatihan guru, pengadaan perangkat pembelajaran, serta perumusan pedoman dan kebijakan etika penggunaan AI agar implementasinya selaras dengan tujuan pembelajaran IPA dan konteks pendidikan.¹¹

⁶ Wilujeng et al., "THE EFFECTIVENESS OF H5P-ASISTED DIFFERENTIATED-INDEPENDENT LEARNING MODEL TO INCREASE LOW-ABILITY STUDENTS' SCIENTIFIC LITERACY."

⁷ Joonhyeong Park et al., "Integrating Artificial Intelligence into Science Lessons: Teachers' Experiences and Views," *International Journal of STEM Education* 10, no. 1 (December 1, 2023), doi:10.1186/s40594-023-00454-3.

⁸ E F Rusydiyah et al., "Jurnal Pendidikan IPA Indonesia STRUCTURAL MODEL OF DIGITAL TRANSFORMATION READINESS OF INDONESIAN RURAL AND URBAN SCIENCE TEACHERS," *JPII* 13, no. 2 (2024): 339–57, doi:10.15294/jpii.v13i2.2612.

⁹ Ibid.

¹⁰ Wilujeng et al., "THE EFFECTIVENESS OF H5P-ASISTED DIFFERENTIATED-INDEPENDENT LEARNING MODEL TO INCREASE LOW-ABILITY STUDENTS' SCIENTIFIC LITERACY."

¹¹ Fengchun Miao et al., "AI and Education Guidance for Policy-Makers," April 2021.

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 *Artificial Intelligence* dalam Pembelajaran IPA

Pemanfaatan *Artificial Intelligence* (AI) dalam pendidikan dapat dipahami sebagai penggunaan sistem komputasi untuk mendukung proses belajar mengajar melalui otomatisasi, pemrosesan informasi, dan pemberian umpan balik. Dalam konteks sekolah, AI lebih aman diposisikan sebagai *intelligence augmentation*, yaitu teknologi yang memperluas kemampuan guru dan peserta didik untuk bekerja lebih efektif tanpa menggantikan peran manusia dalam mengambil keputusan pedagogik dan menilai kebenaran berbasis bukti.¹² Posisi ini menjadi relevan dalam pembelajaran IPA karena tujuan utama IPA bukan sekadar memperoleh jawaban, melainkan membangun pengetahuan melalui proses ilmiah, pemaknaan data, dan penyusunan penjelasan yang dapat dipertanggungjawabkan.

Literatur kajian pustaka pada sains sekolah menunjukkan bahwa penerapan AI berkembang dalam spektrum praktik yang luas, mulai dari dukungan asesmen/umpan balik, pembelajaran adaptif, personalisasi, hingga pendekatan yang melibatkan analisis data dan pemodelan prediktif.¹³ Temuan tersebut menegaskan bahwa AI bukan satu bentuk tunggal, melainkan kumpulan pendekatan yang dapat masuk ke pembelajaran IPA melalui jalur perangkat ajar, strategi guru, maupun ekosistem teknologi sekolah. Karena itu, pembahasan AI dalam IPA perlu diarahkan pada bagaimana teknologi ditempatkan dalam alur kegiatan ilmiah peserta didik, bukan semata pada daftar fitur atau kecanggihan aplikasinya.¹⁴

2.2 Praktik Pembelajaran IPA Berbantuan AI

Pada tataran praktik, implementasi AI dalam pembelajaran IPA kerap muncul dalam bentuk integrasi ke materi dan aktivitas kelas, bukan sebagai mata pelajaran terpisah. Studi mengenai pengalaman guru yang mengintegrasikan AI ke pelajaran sains memperlihatkan bahwa penerimaan dan keberlanjutan penggunaan sangat dipengaruhi oleh keterpaduan dengan tujuan kurikulum serta kemudahan operasional di kelas.¹⁵ Dengan kata lain, praktik berbantuan AI akan lebih bermakna jika ia tidak berdiri sendiri, melainkan menjadi bagian dari skenario aktivitas IPA seperti inkuiri, pemecahan masalah, diskusi berbasis data, dan penyusunan argumen ilmiah.

Di dalam korpus dokumen yang ditinjau, praktik berbantuan AI juga tampak melalui pengembangan perangkat pembelajaran. Modul *e-learning* berbasis AI dikembangkan untuk mendorong keterampilan abad-21, terutama komunikasi, dengan asumsi bahwa perangkat digital yang tepat dapat memandu siswa lebih aktif dalam menalar dan mengekspresikan ide.¹⁶ Perangkat lain berupa *AI-based hypercontent* E-LKPD menempatkan bahan ajar sebagai panduan belajar yang lebih terstruktur dan kontekstual, sehingga AI berfungsi sebagai *support system* yang membantu siswa menjalankan tahapan belajar secara lebih sistematis.¹⁷ Selain itu, pemanfaatan perangkat berbantuan AI pada konteks *microteaching* menunjukkan bahwa AI juga dapat mendukung penguatan kompetensi pedagogik calon guru, terutama ketika digunakan untuk pengembangan media, latihan mengajar, dan refleksi pembelajaran.¹⁸

¹² Hossein Hassani et al., "Artificial Intelligence (AI) or Intelligence Augmentation (IA): What Is the Future?," *AI (Switzerland)* 1, no. 2 (June 1, 2020), doi:10.3390/ai1020008.

¹³ Murwani, Syarifuddin, and Jaenudin, "Development of AI-Based Hypercontent E-LKPD for IPAS Learning in Grade V Elementary School."

¹⁴ Ibid.

¹⁵ Park et al., "Integrating Artificial Intelligence into Science Lessons: Teachers' Experiences and Views."

¹⁶ Pairunan et al., "Development of Artificial Intelligence Based E-Learning Modules to Improve Students' Critical Thinking and Communication Skills."

¹⁷ Murwani, Syarifuddin, and Jaenudin, "Development of AI-Based Hypercontent E-LKPD for IPAS Learning in Grade V Elementary School."

¹⁸ Yeni Megalina et al., "Development of a Multimedia Learning Tool by Utilizing Artificial Intelligence (AI) Towards Basic Teaching Skills in Microteaching Courses for Physics Learning," *Jurnal Penelitian Dan Pembelajaran IPA* 11, no. 1 (May 31, 2025): 113, doi:10.30870/jppi.v11i1.31591.

2.3 Literasi Saintifik sebagai Lensa Evaluasi Praktik AI dalam IPA

Dalam artikel ini, literasi saintifik diposisikan bukan sebagai konsep definisional semata, melainkan sebagai lensa untuk menilai apakah praktik AI benar-benar memperkaya proses ilmiah peserta didik. Temuan tentang model pembelajaran diferensiasi mandiri berbantuan H5P menunjukkan bahwa literasi sains dapat meningkat, terutama pada kelompok kemampuan rendah, namun peningkatan pada dimensi tertentu dapat lebih kecil dibanding dimensi lainnya.¹⁹ Hal ini memberi pesan bahwa teknologi dapat efektif membantu pemahaman dan kemandirian belajar, tetapi tetap memerlukan desain aktivitas yang secara eksplisit menuntut interpretasi data, pemaknaan bukti, serta penghubungan konsep dengan konteks.

Dengan demikian, praktik AI yang relevan terhadap literasi sains adalah praktik yang mendorong siswa melakukan pekerjaan ilmiah: mengamati, merumuskan pertanyaan, menafsirkan informasi, menyusun penjelasan berbasis bukti, dan menguji klaim. Praktik yang memudahkan akses informasi tanpa menuntut kerja berbasis berisiko hanya mempercepat konsumsi pengetahuan tanpa memperkuat literasi sains. Dalam kerangka ini, teknologi pendukung seperti *mobile augmented reality* yang diintegrasikan melalui kebutuhan pembelajaran menjadi penting karena memperkaya pengalaman investigatif dan dilaporkan mampu meningkatkan keterampilan proses sains serta penguasaan konsep.²⁰ Perlu ditekankan bahwa kekuatan praktik bukan terletak pada medianya, melainkan pada bagaimana media memfasilitasi kegiatan ilmiah yang menjadi inti literasi sains.

2.4 Berpikir kritis dalam Pembelajaran IPA dan Tantangan Generative AI

Lensa kedua dalam kajian ini adalah *critical thinking*, terutama karena peserta didik semakin berinteraksi dengan keluaran AI yang bersifat generatif. Pembelajaran yang cepat tentang dampak ChatGPT pada pendidikan menegaskan bahwa teknologi ini berpotensi mendukung pembelajaran, namun juga membawa risiko berupa informasi keliru, bias, tantangan integritas akademik, dan kebutuhan penyesuaian asesmen.²¹ Dalam pembelajaran IPA, risiko yang paling krusial bukan hanya soal kecurangan, tetapi kecenderungan siswa menerima jawaban AI yang tampak meyakinkan tanpa proses verifikasi dan evaluasi bukti. Karena itu, *critical thinking* menjadi kompetensi pengaman yang harus muncul sebagai hasil desain pembelajaran, bukan diharapkan muncul secara alami.

Dari dokumen yang ditinjau, praktik yang selaras dengan penguatan berpikir kritis adalah praktik yang menjadikan AI sebagai jalur bernalar, bukan sebagai pengganti penalaran. Kerangka *intelligence augmentation* membantu memperjelas posisi ini, yakni AI digunakan untuk memperkuat kapasitas manusia, sementara tanggung jawab evaluasi bukti, penarikan inferensi, dan justifikasi tetap berada pada siswa dan guru.²² Sejalan dengan itu, pengembangan modul *e-learning* berbasis AI yang menarget berpikir kritis dan komunikasi mengisyaratkan bahwa perangkat yang dirancang tepat dapat membangun kebiasaan analitis melalui aktivitas yang menuntut penyusunan alasan dan penyajian ide secara terstruktur.²³ Dengan kata lain, *critical thinking* lebih mungkin berkembang ketika skenario belajar menuntut siswa membandingkan klaim, memeriksa bukti, dan memperbaiki argumentasi dan bukan sekadar menyalin keluaran AI.

¹⁹ Wilujeng et al., "THE EFFECTIVENESS OF H5P-ASISTED DIFFERENTIATED-INDEPENDENT LEARNING MODEL TO INCREASE LOW-ABILITY STUDENTS' SCIENTIFIC LITERACY."

²⁰ S. Setiawaty et al., "INTEGRATING MOBILE AUGMENTED REALITY APPLICATIONS THROUGH INQUIRY LEARNING TO IMPROVE STUDENTS' SCIENCE PROCESS SKILLS AND CONCEPT MASTERY," *Jurnal Pendidikan IPA Indonesia* 13, no. 1 (March 1, 2024): 90–102, doi:10.15294/jpii.v13i1.48891.

²¹ Lo, "What Is the Impact of ChatGPT on Education? A Rapid Review of the Literature."

²² Hassani et al., "Artificial Intelligence (AI) or Intelligence Augmentation (IA): What Is the Future?"

²³ Pairunan et al., "Development of Artificial Intelligence Based E-Learning Modules to Improve Students' Critical Thinking and Communication Skills."

2.5 Kerangka Konseptual Penelitian

Kerangka konseptual penelitian ini memposisikan praktik pembelajaran IPA berbantuan *AI* sebagai rangkaian yang menghubungkan pilihan teknologi dengan aktivitas ilmiah dan capaian belajar. Praktik *AI* seperti integrasi *AI* pada pelajaran sains, perangkat ajar berbasis *AI*, personalisasi, serta teknologi pendukung seperti *H5P*, AR, dan VR dipahami sebagai *input* pedagogik yang membentuk desain aktivitas IPA seperti inkuiri, analisis data, argumentasi ilmiah, dan refleksi.²⁴ Aktivitas tersebut selanjutnya diarahkan pada capaian utama berupa berpikir kritis dalam pemahaman literatur saintifik, yang dibaca dari kualitas penggunaan bukti, kemampuan menafsirkan data, serta kemampuan mengevaluasi klaim dan menyusun justifikasi.²⁵

Kerangka ini juga menempatkan faktor moderasi yang menentukan keberhasilan implementasi, terutama kesiapan guru dan ekosistem sekolah. Pengalaman guru dalam integrasi *AI* menegaskan pentingnya keterpaduan kurikulum dan kemudahan operasional,²⁶ sementara model kesiapan transformasi digital menunjukkan variasi kesiapan diri yang perlu ditangani secara kontekstual (misalnya perbedaan urban-rural).²⁷ Di tingkat tata kelola, panduan kebijakan menekankan pentingnya rambu etika, privasi, dan pengaturan implementasi agar penggunaan *AI* tetap aman dan selaras dengan tujuan pendidikan.²⁸ Dengan demikian, kerangka konseptual ini mengarahkan analisis bahwa keberhasilan *AI* dalam pembelajaran IPA bukan hanya ditentukan oleh teknologi yang dipilih, tetapi oleh kualitas desain aktivitas ilmiah, strategi asesmen proses, kesiapan guru, serta kebijakan yang mengatur penggunaannya.²⁹

METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan desain kajian pustaka dengan sintesis tematik untuk memetakan praktik pembelajaran IPA berbantuan *Artificial Intelligence (AI)* serta menilai keterkaitannya dengan literasi saintifik. Pendekatan ini dipilih karena fokus kajian adalah mengidentifikasi pola praktik, tema dominan, dan implikasi pedagogik dari literatur yang tersedia, bukan menguji hipotesis atau melakukan estimasi efek kuantitatif lintas studi. Kerangka pemetaan praktik *AI* dalam pendidikan sains digunakan sebagai landasan konseptual agar analisis berorientasi pada tema lintas dokumen, bukan ringkasan per studi.³⁰

Sumber data berupa dokumen yang seluruhnya berasal dari file dengan standar sinta maupun buku yang sudah standar internasional. Dokumen mencakup kajian pustaka pada sains sekolah dan pembelajaran IPA,³¹ kajian konseptual tentang *intelligence augmentation*, studi empiris terkait pengalaman maupun persepsi guru dan kesiapan transformasi digital, kajian dampak *generative AI* (ChatGPT) terhadap pendidikan dan asesmen,³² dokumen kebijakan, serta penelitian juga pengembangan perangkat pembelajaran dan teknologi pendukung seperti modul *e-learning* berbasis *AI*, *hypercontent* E-LKPD, *H5P*, *mobile augmented reality*, dan

²⁴ D. Sumardani and C. H. Lin, "INVESTIGATING THE FACTORS THAT INFLUENCE THE IMPLEMENTATION OF VIRTUAL REALITY IN SCIENCE LEARNING," *Jurnal Pendidikan IPA Indonesia* 13, no. 1 (2024): 76–89, doi:10.15294/jpii.v13i1.44018.

²⁵ Wilujeng et al., "THE EFFECTIVENESS OF H5P-ASISTED DIFFERENTIATED-INDEPENDENT LEARNING MODEL TO INCREASE LOW-ABILITY STUDENTS' SCIENTIFIC LITERACY."

²⁶ Park et al., "Integrating Artificial Intelligence into Science Lessons: Teachers' Experiences and Views."

²⁷ Rusydiyah et al., "Jurnal Pendidikan IPA Indonesia STRUCTURAL MODEL OF DIGITAL TRANSFORMATION READINESS OF INDONESIAN RURAL AND URBAN SCIENCE TEACHERS."

²⁸ Miao et al., "AI and Education Guidance for Policy-Makers."

²⁹ Ibid.

³⁰ Murwani, Syarifuddin, and Jaenudin, "Development of AI-Based Hypercontent E-LKPD for IPAS Learning in Grade V Elementary School."

³¹ Ibid.

³² Lo, "What Is the Impact of ChatGPT on Education? A Rapid Review of the Literature."

virtual reality.³³ Unit analisis adalah informasi dalam setiap dokumen mengenai konteks implementasi, bentuk praktik/teknologi, tujuan pembelajaran, indikator hasil/implikasi, serta prasyarat dan kendala implementasi.

Seleksi dokumen dilakukan secara transparan bergaya *PRISMA-lite* karena korpus data bersifat tetap dan bukan hasil penelusuran basis data terbuka. Seluruh dokumen disaring berdasarkan relevansi dengan pembelajaran sains/IPA, implementasi *AI* atau jalur teknologi yang mendukung integrasi *AI*, serta keterkaitan dengan tujuan penelitian. Dapat dipastikan seluruh dokumen memenuhi relevansi dan dianalisis.

Ekstraksi data dilakukan menggunakan matriks ekstraksi untuk menstandarkan informasi yang diambil dari setiap dokumen, mencakup jenis dokumen (misalnya *review*, empiris, pengembangan, kebijakan), konteks (guru/siswa/calon guru), bentuk praktik *AI* atau teknologi pendukung, tujuan pembelajaran, serta implikasi yang dilaporkan. Analisis keterkaitan dilakukan dengan menautkan temuan dokumen pada dimensi saintifik (misalnya dukungan proses sains, interpretasi data, penggunaan bukti)³⁴ dan standar berpikir kritis (misalnya evaluasi klaim, argumentasi, refleksi, serta isu asesmen dan risiko *generative AI*).

Analisis dilakukan melalui proses sintesis tema penelitian dengan langkah *coding* terbuka, pengelompokan kode, dan sintesis tema lintas dokumen. Tema utama yang digunakan meliputi integrasi *AI* pada pelajaran sains dan peran guru,³⁵ pengembangan perangkat pembelajaran berbasis *AI*, personalisasi pembelajaran, teknologi pendukung proses inkuiri (*H5P*, *AR/VR*), kesiapan transformasi digital dan tata kelola kebijakan, serta isu epistemik dan asesmen terkait *generative AI*. Tema-tema tersebut disintesis untuk menjelaskan kontribusi praktik terhadap *scientific literacy* dan *critical thinking* serta mengidentifikasi faktor pendukung-penghambat implementasi.

Untuk meningkatkan ketelitian, penelitian ini menerapkan *quality appraisal* sederhana terhadap dokumen berdasarkan kejelasan pendekatan/metode, konteks implementasi, indikator hasil/implikasi, serta pembahasan keterbatasan atau risiko implementasi.³⁶ Keabsahan temuan dijaga melalui konsistensi ekstraksi dan sintesis tema pada seluruh dokumen serta perbandingan lintas jenis dokumen (*review-empiris-pengembangan-kebijakan*). Keterbatasan utama penelitian ini adalah korpus data yang terbatas pada file yang tersedia, sehingga temuan dipahami sebagai pemetaan praktik dan isu kunci berdasarkan dokumen yang tersedia, bukan representasi menyeluruh seluruh publikasi global tentang *AI* dalam pembelajaran IPA.

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Gambaran Umum Temuan dan Pola Tema dalam Korpus

Sintesis terhadap keseluruhan dokumen menunjukkan bahwa praktik pembelajaran IPA berbantuan *Artificial Intelligence (AI)* tidak muncul sebagai satu model tunggal, melainkan sebagai kumpulan pendekatan yang masuk melalui beberapa jalur yakni integrasi *AI* ke dalam pelajaran sains melalui peran guru, pengembangan perangkat ajar berbasis *AI*, personalisasi pembelajaran, pemanfaatan teknologi digital pendukung proses inkuiri misalnya *H5P*, *mobile augmented reality*, *virtual reality*, serta dukungan ekosistem berupa kesiapan transformasi digital guru dan tata kelola kebijakan/etika. Secara konseptual, pola ini sejalan dengan

³³ Aigerim Abdulayeva et al., "THE ROLE OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE (AI) IN PERSONALISED PHYSICS EDUCATION," *Jurnal Pendidikan IPA Indonesia* 14, no. 3 (September 1, 2025): 599–615, doi:10.15294/jpii.v14i3.29752.

³⁴ Wilujeng et al., "THE EFFECTIVENESS OF H5P-ASISTED DIFFERENTIATED-INDEPENDENT LEARNING MODEL TO INCREASE LOW-ABILITY STUDENTS' SCIENTIFIC LITERACY."

³⁵ Park et al., "Integrating Artificial Intelligence into Science Lessons: Teachers' Experiences and Views."

³⁶ Rusydiyah et al., "Jurnal Pendidikan IPA Indonesia STRUCTURAL MODEL OF DIGITAL TRANSFORMATION READINESS OF INDONESIAN RURAL AND URBAN SCIENCE TEACHERS."

kerangka bahwa *AI* sebaiknya diposisikan sebagai *intelligence augmentation* yang memperkuat kapasitas manusia, bukan menggantikan kerja berpikir dan penilaian berbasis bukti.

Pada level praktik sekolah, peran guru tampak menentukan karena guru adalah pengorkestra aktivitas IPA di kelas. Studi tentang pengalaman guru dalam mengintegrasikan *AI* pada pelajaran sains menegaskan bahwa penerimaan dan keberlanjutan penggunaan sangat dipengaruhi keterpaduan dengan tujuan kurikulum serta kemudahan operasional di kelas. Temuan lain memperlihatkan bahwa kesiapan tidak seragam, baik pada level persepsi/pemahaman guru maupun kesiapan transformasi digital yang berbeda menurut konteks, sehingga implementasi *AI* tidak dapat diperlakukan sebagai paket seragam untuk semua sekolah.³⁷ Dengan demikian, temuan ini disusun untuk menjawab empat fokus: pemetaan praktik (RQ1), keterkaitan praktik dengan *scientific literacy* (RQ2), kontribusi/riskonya terhadap *critical thinking* (RQ3), serta faktor pendukung-penghambat implementasi (RQ4).

4.2 Research Question 1: Taksonomi Praktik Pembelajaran IPA Berbantuan AI

Praktik pembelajaran IPA berbantuan *AI* dalam korpus dapat dikelompokkan menjadi lima klaster besar. Klaster pertama adalah praktik yang menekankan integrasi *AI* pada pelajaran sains melalui desain pembelajaran yang diorkestrasi guru. Dalam klaster ini, *AI* diposisikan sebagai bagian dari konteks belajar dan aktivitas kelas. Yaitu sebagai topik, alat bantu, atau sumber dukungan belajar, dan keberhasilannya ditentukan oleh bagaimana guru menghubungkan *AI* dengan tujuan pembelajaran sains dan cara siswa membangun penalaran ilmiah. Klaster kedua adalah praktik berbasis perangkat ajar *AI* seperti modul *e-learning* berbasis *AI* dan *AI-based hypercontent* E-LKPD. Pada klaster ini, *AI* umumnya dipakai sebagai jalur yang membantu menyusun alur belajar, memperkaya konten, dan memfasilitasi aktivitas yang lebih terarah. Klaster ketiga ialah personalisasi pembelajaran yang menekankan dukungan adaptif sesuai kebutuhan siswa, yang pada konteks fisika dipahami sebagai penerapan *AI* untuk menyesuaikan strategi atau konten belajar agar lebih relevan bagi individu. Klaster keempat adalah praktik yang memanfaatkan teknologi digital pendukung proses inkuiri, termasuk *H5P* untuk pembelajaran diferensiasi-mandiri serta teknologi terbaru seperti *mobile augmented reality* dan *virtual reality* untuk memperkaya pengalaman investigatif dan pemaknaan konsep.³⁸ Klaster kelima adalah praktik yang terkait dengan prasyarat sistemik, yakni kesiapan transformasi digital guru, persepsi guru, serta tata kelola kebijakan, etika, dan privasi penggunaan *AI* di pendidikan.³⁹

Taksonomi ini memperlihatkan bahwa istilah pembelajaran IPA berbantuan *AI* pada kenyataannya dapat merujuk pada ragam implementasi yang berbeda. Karena itu, analisis dampak terhadap capaian belajar tidak dapat dilakukan secara generik. Praktik berbasis perangkat ajar misalnya, cenderung menonjolkan penguatan struktur aktivitas belajar, sedangkan praktik berbasis teknologi maju menonjolkan perluasan pengalaman inkuiri. Sementara itu, praktik berbasis *generative AI* membawa karakter risiko yang berbeda karena sifatnya menghasilkan keluaran yang tampak koheren tetapi perlu diuji, sehingga menuntut desain tugas dan pengujian yang lebih ketat.

³⁷ Oktian Fajar Nugroho, Lisna Hikmawaty, and Silvia Ratna Juwita, "Artificial Intelligence Technology Embedded in High School Science Learning: A Study of Teacher Perception," *Pedagonal : Jurnal Ilmiah Pendidikan* 8, no. 2 (October 30, 2024): 132–43, doi:10.55215/pedagonal.v8i2.16.

³⁸ Sumardani and Lin, "INVESTIGATING THE FACTORS THAT INFLUENCE THE IMPLEMENTATION OF VIRTUAL REALITY IN SCIENCE LEARNING."

³⁹ Miao et al., "AI and Education Guidance for Policy-Makers."

4.3 Research Question 2: Keterkaitan Praktik AI dengan Scientific Literacy

Keterkaitan praktik AI terhadap *scientific literacy* tampak paling kuat ketika teknologi diposisikan untuk memperkaya proses ilmiah, bukan sekadar mempercepat akses informasi. Bukti dari model pembelajaran diferensiasi mandiri berbantuan *H5P* menunjukkan bahwa peningkatan literatur sains dapat terjadi, terutama pada peserta didik dengan kemampuan rendah, namun peningkatan tersebut bisa berbeda antar dimensi, yang mengisyaratkan pentingnya desain aktivitas agar literasi sains tidak berhenti pada pemahaman konsep tetapi juga menuntut interpretasi bukti dan pemaknaan ilmiah. Temuan ini relevan untuk praktik AI karena memperjelas bahwa teknologi hanya akan terbaca sebagai penguat literasi sains bila tugas pembelajaran mendorong proses ilmiah yang eksplisit.

Integrasi *mobile augmented reality* melalui kebutuhan pembelajaran juga menguatkan argumen bahwa teknologi dapat menjadi alat untuk memperkaya pengalaman sains yang bersifat investigatif. Dalam studi tersebut, integrasi AR dilaporkan mampu meningkatkan keterampilan proses sains dan penguasaan konsep, yang merupakan elemen penting dalam literasi sains di IPA. Pada konteks ini, AI dapat diposisikan sebagai lapisan penguat yang membantu siswa menafsirkan hasil pengamatan maupun simulasi, mengorganisasi data, atau merumuskan penjelasan berbasis bukti, sehingga pengalaman imersif tetap berujung pada kerja ilmiah, bukan sekadar pengalaman visual.

Praktik berbasis perangkat ajar AI juga berpotensi mendukung referensi pustaka apabila perangkat mendorong siswa untuk mengaitkan konsep, data, dan penjelasan. Pengembangan *AI-based hypercontent* E-LKPD memperlihatkan orientasi pada perangkat yang memandu aktivitas belajar secara lebih terstruktur dan kontekstual, sehingga ruang untuk mengaitkan konsep dengan fenomena menjadi lebih terbuka. Meskipun demikian, perangkat ajar berbasis AI berisiko hanya memperkaya konten bila tidak disertai tuntutan kegiatan proses sains seperti menyusun pertanyaan, menguji, dan menafsirkan bukti. Dengan demikian, pustaka sains yang diserap lebih mungkin meningkat ketika AI digunakan untuk mendukung rangkaian kerja ilmiah (observasi-analisis-inferensi-justifikasi) dan bukan hanya menjadi penyedia penjelasan instan.

4.4 Research Question 3: Kontribusi terhadap Critical Thinking serta Potensi Hambatannya

Kontribusi praktik berbantuan AI terhadap berpikir kritis tampak kuat ketika AI ditempatkan sebagai *support system* bernalar. Pengembangan modul *e-learning* berbasis AI secara eksplisit menarget peningkatan *critical thinking* dan komunikasi, yang memperlihatkan bahwa perangkat dapat dirancang untuk mendorong aktivitas analisis dan pengungkapan alasan, bukan hanya latihan prosedural.⁴⁰ Dalam kerangka ini, AI berpotensi membantu siswa mengorganisasi argumen, menyusun langkah pemecahan masalah, dan mengomunikasikan penjelasan, sementara siswa tetap memegang kendali terhadap isi alasan dan pembuktian.

Namun, potensi hambatan paling menonjol berkaitan dengan penggunaan *generative AI* yang dapat menghasilkan jawaban cepat dengan tampilan meyakinkan. Pembacaan yang cepat tentang dampak ChatGPT pada pendidikan menegaskan risiko berupa informasi keliru, bias, serta tantangan integritas akademik, sehingga strategi asesmen perlu disesuaikan agar tetap mengukur proses berpikir. Dalam konteks IPA, risiko ini sangat terkait dengan kualitas kemampuan berpikir yakni jika siswa mengambil keluaran AI sebagai kebenaran tanpa verifikasi, maka aktivitas evaluasi bukti, deteksi kesalahan, dan penyusunan justifikasi dapat melemah. Karena itu, praktik *generative AI* yang lebih selaras dengan kemampuan berpikir adalah praktik yang menjadikan keluaran AI sebagai objek kritik dimana siswa diminta menguji klaim, menemukan kelemahan argumen, membandingkan dengan data maupun sumber belajar, lalu menyusun perbaikan argumentatif.

⁴⁰ Pairunan et al., "Development of Artificial Intelligence Based E-Learning Modules to Improve Students' Critical Thinking and Communication Skills."

Kerangka *intelligence augmentation* memberi pijakan konseptual untuk mengurangi risiko tersebut. Dalam kerangka ini, *AI* dipakai untuk memperkuat kapasitas manusia, sementara penilaian bukti dan keputusan akhir tetap dilakukan manusia. Dengan demikian, kontribusi *AI* terhadap *critical thinking* tidak otomatis muncul dari penggunaan teknologi, melainkan dari desain tugas dan review yang mengunci munculnya proses evaluatif. Hal ini juga sejalan dengan temuan bahwa penerimaan teknologi dalam pembelajaran misalnya *virtual reality*, dipengaruhi persepsi kegunaan dan kenyamanan. Jika teknologi mengganggu pengalaman belajar, maka fokus analitis siswa dapat menurun.⁴¹ Artinya, untuk menjaga poin tersebut, implementasi harus mempertimbangkan aspek pedagogik seperti tugas dan aspek pengalaman pengguna (kemudahan, kenyamanan, dan alur belajar).

4.5 Research Question 4: Faktor Pendukung dan Penghambat Implementasi Praktik AI

Faktor pendukung dan penghambat implementasi *AI* pada pembelajaran IPA paling menonjol pada dua level yakni level individu (guru) dan level sistem (sekolah/kebijakan). Pada level individu, studi persepsi guru menunjukkan bahwa hambatan umum mencakup keterbatasan pemahaman dan penggunaan *AI*, keterbatasan pelatihan, serta dukungan infrastruktur yang belum memadai.⁴² Pada level kesiapan yang lebih struktural, model kesiapan transformasi digital guru sains Indonesia menunjukkan variasi pemahaman antara konteks urban dan rural, sehingga strategi penguatan tidak dapat disamaratakan. Temuan ini menegaskan bahwa keberhasilan implementasi bukan hanya tentang ketersediaan perangkat, tetapi tentang kapasitas guru mengorkestrasi pembelajaran berbasis aktivitas ilmiah dan proses *review*.

Pada level sistem, dokumen kebijakan menekankan perlunya tata kelola implementasi, termasuk rambu etika dan privasi, agar penggunaan *AI* di pendidikan tidak menimbulkan risiko baru. Hal ini menjadi semakin penting ketika sekolah menghadapi *generative AI* yang membawa risiko integritas akademik dan kebutuhan desain ulang asesmen. Selain itu, kajian mengenai irisan *AI* dan pendidikan sains di Indonesia menegaskan perlunya jalur implementasi yang melibatkan dukungan kebijakan, inovasi pedagogik, dan penataan ekosistem pendidikan agar integrasi *AI* tidak berhenti pada level wacana.⁴³ Dengan demikian, faktor pendukung implementasi yang paling penting mencakup ketersediaan perangkat ajar yang kompatibel, pelatihan guru yang kontekstual, dukungan infrastruktur, serta kebijakan sekolah yang jelas terkait etika, privasi, dan asesmen.

4.6 Sintesis Pembahasan: Kondisi “Paling Menguatkan” dan “Paling Berisiko”

Sintesis lintas tema menunjukkan bahwa kondisi paling menguatkan terjadi ketika *AI* atau teknologi pendukung diposisikan untuk memperkaya proses inkuiri, interpretasi data, dan argumentasi ilmiah, sebagaimana tercermin pada integrasi AR berbasis kebutuhan pembelajaran dan model pembelajaran diferensiasi bersifat mandiri yang memfasilitasi aktivitas terstruktur.

Sebaliknya, kondisi paling berisiko muncul ketika *AI* dipakai sebagai pengganti penalaran, terutama pada penggunaan *generative AI* yang dapat mendorong penerimaan jawaban instan tanpa verifikasi. Kerangka *intelligence augmentation* menegaskan perlunya menjaga manusia sebagai penilai bukti dan pengambil keputusan, sehingga implementasi yang aman mengarah pada desain tugas yang menjadikan keluaran *AI* sebagai bahan evaluasi dan pembuktian, bukan sebagai jawaban final. Dengan demikian, pembelajaran IPA berbantuan *AI* yang setara tujuan

⁴¹ Sumardani and Lin, “INVESTIGATING THE FACTORS THAT INFLUENCE THE IMPLEMENTATION OF VIRTUAL REALITY IN SCIENCE LEARNING.”

⁴² Nugroho, Hikmawaty, and Juwita, “Artificial Intelligence Technology Embedded in High School Science Learning: A Study of Teacher Perception.”

⁴³ H Harianti et al., “The Intersection of AI and Science Education in Indonesia: A Path Forward,” *JSER Journal of Science Education Research Journal Homepage* 2024, no. 1 (2025): 1–10, doi:10.21831/jsr.v9.i1.74872.

literasi sains dan berpikir kritis menuntut penguatan desain tugas investigatif, rubrik asesmen proses, serta kebijakan sekolah terkait etika dan privasi.

KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan sintesis tematik terhadap dokumen yang dianalisis, praktik pembelajaran IPA berbantuan *Artificial Intelligence (AI)* dapat dipahami sebagai spektrum implementasi yang masuk melalui beberapa jalur utama, yakni integrasi *AI* pada pelajaran sains melalui peran guru, pengembangan perangkat ajar berbasis *AI*, personalisasi pembelajaran, pemanfaatan teknologi digital pendukung proses inkuiri (misalnya *H5P*, *mobile augmented reality*, dan *virtual reality*), serta dukungan sistem berupa kesiapan transformasi digital guru dan tata kelola kebijakan/etika. Temuan ini menunjukkan bahwa istilah pembelajaran IPA berbantuan *AI* tidak merujuk pada satu model yang seragam, melainkan pada ragam strategi yang efek pedagogiknya sangat bergantung pada desain aktivitas belajar, bentuk teknologi yang digunakan, dan konteks implementasinya.

Dari perspektif kajian pustaka, praktik yang paling konsisten mendukung literasi sains adalah praktik yang menempatkan teknologi untuk memperkaya proses ilmiah peserta didik, terutama ketika pembelajaran memfasilitasi kegiatan investigatif, interpretasi data, dan penggunaan bukti dalam penjelasan. Peningkatan literasi sains lebih mungkin terjadi apabila perangkat dan aktivitas pembelajaran tidak hanya menyajikan informasi, tetapi juga menuntut keterlibatan siswa dalam proses ilmiah secara eksplisit, sebagaimana tercermin pada pembelajaran diferensiasi-mandiri berbantuan *H5P* dan integrasi *mobile augmented reality* melalui *inquiry learning*. Sebaliknya, penggunaan teknologi yang dominan sebagai penyedia konten tanpa tuntutan kerja evidensial berpotensi memperkaya informasi tetapi belum tentu memperkuat literasi sains sebagai kemampuan memahami dan menggunakan bukti secara ilmiah.

Dari perspektif *critical thinking*, kontribusi praktik *AI* tampak lebih kuat ketika *AI* diposisikan sebagai jalur untuk mendorong analisis, evaluasi klaim, argumentasi, dan komunikasi ilmiah. Pengembangan modul *e-learning* berbasis *AI* yang menarget *critical thinking* dan komunikasi memberi indikasi bahwa perangkat dapat dirancang untuk menumbuhkan pola berpikir tingkat tinggi apabila aktivitas dan asesmennya mendorong siswa menyusun alasan dan menilai informasi secara kritis. Namun, korpus dokumen juga menegaskan potensi risiko yang khas pada *generative AI* karena kemampuannya menghasilkan jawaban cepat yang tampak koheren, tetapi dapat mengandung kekeliruan dan mendorong kebiasaan menerima jawaban tanpa verifikasi. Dalam konteks IPA, risiko ini tidak hanya terkait integritas akademik, melainkan juga terkait kualitas penalaran ilmiah siswa jika validasi bukti tidak menjadi bagian inti pembelajaran.

Selain aspek pedagogik, faktor penentu keberhasilan implementasi *AI* yang menonjol adalah kesiapan guru dan dukungan sistem sekolah. Pengalaman guru dalam integrasi *AI* menunjukkan bahwa keterpaduan dengan kurikulum dan kemudahan operasional di kelas menjadi faktor penting dalam penerimaan praktik. Di sisi lain, persepsi guru dan model kesiapan transformasi digital memperlihatkan hambatan umum berupa keterbatasan pelatihan, variasi literasi digital, serta perbedaan kesiapan antar konteks (urban-rural), yang menuntut strategi implementasi yang lebih kontekstual. Pada level kebijakan, dokumen panduan menegaskan pentingnya tata kelola, etika, dan privasi penggunaan *AI* di pendidikan agar implementasinya selaras dengan tujuan pembelajaran dan aman bagi peserta didik.

Secara keseluruhan, kajian ini menyimpulkan bahwa praktik pembelajaran IPA berbantuan *AI* yang paling relevan untuk penguatan *scientific literacy* dan *critical thinking* adalah praktik yang menjadikan *AI* sebagai *intelligence augmentation*, yakni alat bantu yang memperkuat proses ilmiah, sementara tanggung jawab evaluasi bukti dan pengambilan

keputusan tetap berada pada manusia (guru dan peserta didik). Dengan demikian, keberhasilan implementasi tidak ditentukan oleh kecanggihan *AI* semata, tetapi oleh desain tugas investigatif, rubrik asesmen proses, kesiapan guru, serta kebijakan sekolah yang mengatur etika dan privasi.

5.2 Saran

Berdasarkan hasil kajian, saran pertama ditujukan kepada guru IPA agar penggunaan *AI* diposisikan sebagai salah satu jalan untuk proses ilmiah, bukan sebagai jalan pintas utama untuk memperoleh jawaban. Dalam praktiknya, guru perlu merancang tugas berbasis bukti yang mewajibkan siswa melakukan verifikasi terhadap keluaran *AI*, misalnya dengan membandingkan hasil *AI* terhadap data pengamatan, tabel/grafik, atau hasil eksperimen dan kemudian menyusun penjelasan yang disertai alasan serta rujukan pembelajaran. Pendekatan ini sejalan dengan kebutuhan mitigasi risiko *generative AI* dan kebutuhan penyesuaian asesmen agar tetap mengukur proses berpikir.

Saran kedua adalah penguatan asesmen berbasis proses untuk memastikan *scientific literacy* dan *critical thinking* benar-benar terukur. Guru disarankan menggunakan rubrik yang menilai kualitas klaim-bukti-alasan, ketepatan interpretasi data, serta refleksi terhadap kelemahan argumen, bukan hanya jawaban akhir. Orientasi ini relevan dengan temuan pengembangan modul *e-learning* berbasis *AI* yang menarget kemampuan berpikir kritis dan komunikasi, karena perangkat akan lebih bermakna jika didukung penilaian yang menuntut argumentasi ilmiah.

Saran ketiga ditujukan kepada sekolah dan pemangku kebijakan agar menyiapkan dukungan sistemik yang realistis, terutama pelatihan guru dan dukungan infrastruktur. Mengingat variasi kesiapan transformasi digital guru sains pada konteks urban dan rural, program penguatan kompetensi perlu disusun kontekstual serta berorientasi pada praktik pengajaran yang dapat langsung diterapkan di kelas. Pada saat yang sama, persepsi guru yang menunjukkan keterbatasan pemahaman dan pelatihan menegaskan perlunya dukungan berkelanjutan agar implementasi *AI* tidak berhenti pada tahap coba-coba.

Saran keempat adalah penyusunan pedoman sekolah terkait etika, privasi, dan tata kelola penggunaan *AI* dalam pembelajaran. Pedoman ini penting untuk mengatur batasan penggunaan *AI*, jenis data yang boleh digunakan, serta mekanisme pengawasan integritas akademik dan perlindungan peserta didik. Dokumen panduan kebijakan menunjukkan bahwa tata kelola merupakan prasyarat agar implementasi *AI* berjalan aman dan selaras dengan tujuan pendidikan. Dalam konteks *generative AI*, pedoman tersebut juga perlu diikuti dengan penyesuaian asesmen agar siswa tetap dituntut menunjukkan proses berpikir dan validasi bukti.

Saran terakhir ditujukan untuk penelitian selanjutnya agar memperluas cakupan kajian melalui penelusuran basis data yang lebih luas dan menggunakan protokol metode review yang lebih ketat. Selain itu, penelitian berikutnya dapat mengeksplorasi bagaimana desain tugas investigatif dan rubrik asesmen proses dapat memoderasi dampak penggunaan *AI* terhadap *scientific literacy* dan *critical thinking* pada berbagai jenjang pendidikan.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdulayeva, Aigerim, Nazym Zhanatbekova, Yerlan Andasbayev, Yerlan Khaimuldanov, and Zhomart Zhiyembayev. "THE ROLE OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE (AI) IN PERSONALISED PHYSICS EDUCATION." *Jurnal Pendidikan IPA Indonesia* 14, no. 3 (September 1, 2025): 599-615. doi:10.15294/jpii.v14i3.29752.
- Harianti, H, S Anwar, A Kadarohaman, / J Sc, ; S Anwar, and A Kadarohman. "The Intersection of AI and Science Education in Indonesia: A Path Forward." *JSER Journal of Science Education Research Journal Homepage* 2024, no. 1 (2025): 1-10. doi:10.21831/jserv9.i1.74872.

- Hassani, Hossein, Emmanuel Sirimal Silva, Stephane Unger, Maedeh TajMazinani, and Stephen Mac Feely. "Artificial Intelligence (AI) or Intelligence Augmentation (IA): What Is the Future?" *AI (Switzerland)* 1, no. 2 (June 1, 2020). doi:10.3390/ai1020008.
- Lo, Chung Kwan. "What Is the Impact of ChatGPT on Education? A Rapid Review of the Literature." *Education Sciences*. MDPI, April 1, 2023. doi:10.3390/educsci13040410.
- Megalina, Yeni, Rugaya Rugaya, Khairul Amdani, and Rizky Agassy Sihombing. "Development of a Multimedia Learning Tool by Utilizing Artificial Intelligence (AI) Towards Basic Teaching Skills in Microteaching Courses for Physics Learning." *Jurnal Penelitian Dan Pembelajaran IPA* 11, no. 1 (May 31, 2025): 113. doi:10.30870/jppi.v11i1.31591.
- Miao, Fengchun, Wayne Holmes, Ronghuai Huang, and Hui Zhang. "AI and Education Guidance for Policy-Makers," April 2021.
- Murwani, Sri, Syarifuddin, and Riswan Jaenudin. "Development of AI-Based Hypercontent E-LKPD for IPAS Learning in Grade V Elementary School." *Jurnal Penelitian Pendidikan IPA* 11, no. 8 (August 25, 2025): 1167-73. doi:10.29303/jppipa.v11i8.12403.
- Nugroho, Oktian Fajar, Lisna Hikmawaty, and Silvia Ratna Juwita. "Artificial Intelligence Technology Embedded in High School Science Learning: A Study of Teacher Perception." *Pedagonal: Jurnal Ilmiah Pendidikan* 8, no. 2 (October 30, 2024): 132-43. doi:10.55215/pedagonal.v8i2.16.
- Pairunan, Azizah S, Unggul Wahyono, Marungkil Pasaribu, and Corresponding Author. "Development of Artificial Intelligence Based E-Learning Modules to Improve Students' Critical Thinking and Communication Skills." *Jurnal Penelitian Pendidikan IPA* 11, no. 9 (2025): 993-1005. doi:10.29303/jppipa.v11i9.12050.
- Park, Joonhyeong, Tang Wee Teo, Arnold Teo, Jina Chang, Jun Song Huang, and Sengmeng Koo. "Integrating Artificial Intelligence into Science Lessons: Teachers' Experiences and Views." *International Journal of STEM Education* 10, no. 1 (December 1, 2023). doi:10.1186/s40594-023-00454-3.
- Rusydiyah, E F, H Asrohah, K Basyir, M R Rahman, T Usagawa, and Uin Sunan Ampel Surabaya. "Jurnal Pendidikan IPA Indonesia STRUCTURAL MODEL OF DIGITAL TRANSFORMATION READINESS OF INDONESIAN RURAL AND URBAN SCIENCE TEACHERS." *JPII* 13, no. 2 (2024): 339-57. doi:10.15294/jpii.v13i2.2612.
- Setiawaty, S., I. R. Lukman, R. Imanda, S. Sudirman, and R. Rauzatuzzikrina. "INTEGRATING MOBILE AUGMENTED REALITY APPLICATIONS THROUGH INQUIRY LEARNING TO IMPROVE STUDENTS' SCIENCE PROCESS SKILLS AND CONCEPT MASTERY." *Jurnal Pendidikan IPA Indonesia* 13, no. 1 (March 1, 2024): 90-102. doi:10.15294/jpii.v13i1.48891.
- Sumardani, D., and C. H. Lin. "INVESTIGATING THE FACTORS THAT INFLUENCE THE IMPLEMENTATION OF VIRTUAL REALITY IN SCIENCE LEARNING." *Jurnal Pendidikan IPA Indonesia* 13, no. 1 (2024): 76-89. doi:10.15294/jpii.v13i1.44018.
- Wilujeng, Indrawati, Trise Nurul Ain, Adhy Putri Rilianti, Faiz Hasyim, and Maskanatul Fiqiyah. "THE EFFECTIVENESS OF H5P-ASISTED DIFFERENTIATED-INDEPENDENT LEARNING MODEL TO INCREASE LOW-ABILITY STUDENTS' SCIENTIFIC LITERACY." *Jurnal Pendidikan IPA Indonesia* 14, no. 1 (March 1, 2025): 32-41. doi:10.15294/jpii.v14i1.19560.