

Pemanfaatan Artificial Intelligence sebagai Pendukung Asesmen Formatif dalam Pembelajaran IPA di Sekolah Dasar

Achmad Dwicki Fitra Utama✉, Universitas PGRI Madiun

Amanda Widya Cahyani, Universitas PGRI Madiun

Laras Permata Putri, Universitas PGRI Madiun

Al Amida Rochma Fauziyyah, Universitas PGRI Madiun

Tsabitah Aulia Farah, Universitas PGRI Madiun

✉ achmaddwick8@gmail.com

Abstract: The development of Artificial Intelligence (AI) has created various opportunities to enhance the quality of learning, including the implementation of formative assessments in primary schools. In Natural Science (IPA) education, formative assessment plays a crucial role in monitoring the development of student understanding, providing continuous feedback, and helping teachers determine instructional strategies tailored to students' needs. However, the implementation of formative assessment still faces obstacles, such as teachers' limited time for developing assessment instruments, providing individual feedback, and analyzing student learning outcomes. This article aims to describe the use of AI to support formative assessment in primary school science education, identify the benefits gained, and examine the challenges of its implementation. The study employs a literature review approach, analyzing relevant scholarly articles, books, proceedings, and policy documents concerning AI, formative assessment, and primary school science education. Data were analyzed descriptively through processes of data reduction, data presentation, and conclusion drawing. The findings indicate that AI can support the adaptive creation of assessment questions, provide faster and more personalized feedback, analyze student learning achievements, and assist teachers in identifying learning difficulties to design appropriate follow-up instruction. Beyond increasing the efficiency of formative assessment, AI also has the potential to foster learning that is more differentiated and student-centered. Nevertheless, AI implementation faces challenges such as limited teacher digital literacy, technological infrastructure readiness, personal data protection concerns, and the need for ethical guidelines regarding its use. Therefore, the use of AI should be positioned as a tool to support teacher professionalism rather than a replacement for the teacher's role in the learning process. Properly designed AI integration is expected to enhance the quality of formative assessment and support the creation of more effective, adaptive, and meaningful science learning in primary schools.

Keywords: Artificial Intelligence, formative assessment, science learning, primary school, educational technology.

Abstrak: Perkembangan *Artificial Intelligence* (AI) telah menghadirkan berbagai peluang untuk meningkatkan kualitas pembelajaran, termasuk dalam pelaksanaan asesmen formatif di sekolah dasar. Pada pembelajaran Ilmu Pengetahuan Alam (IPA), asesmen formatif berperan penting dalam memantau perkembangan pemahaman siswa, memberikan umpan balik secara berkelanjutan, serta membantu guru menentukan strategi pembelajaran yang sesuai dengan kebutuhan peserta didik. Namun, pelaksanaan asesmen formatif masih menghadapi berbagai kendala, seperti keterbatasan waktu guru dalam menyusun instrumen, memberikan umpan balik secara individual, dan menganalisis hasil belajar siswa. Artikel ini bertujuan untuk mendeskripsikan pemanfaatan *Artificial Intelligence* sebagai pendukung asesmen formatif dalam pembelajaran IPA di sekolah dasar, mengidentifikasi manfaat yang diperoleh, serta mengkaji tantangan implementasinya.

Penelitian menggunakan pendekatan **studi kepustakaan (library research)** dengan menganalisis berbagai artikel ilmiah, buku, prosiding, dan dokumen kebijakan yang relevan mengenai AI, asesmen formatif, dan pembelajaran IPA di sekolah dasar. Data dianalisis secara deskriptif melalui proses reduksi data, penyajian data, dan penarikan kesimpulan. Hasil kajian menunjukkan bahwa pemanfaatan AI mampu mendukung penyusunan soal secara adaptif, memberikan umpan balik yang lebih cepat dan personal, menganalisis capaian belajar siswa, serta membantu guru dalam mengidentifikasi kesulitan belajar untuk merancang tindak lanjut pembelajaran. Selain meningkatkan efisiensi pelaksanaan asesmen formatif, AI juga berpotensi mendorong pembelajaran yang lebih terdiferensiasi dan berpusat pada peserta didik. Meskipun demikian, implementasi AI masih menghadapi tantangan berupa keterbatasan literasi digital guru, kesiapan infrastruktur teknologi, perlindungan data pribadi, serta perlunya pedoman etis dalam penggunaannya. Oleh karena itu, pemanfaatan AI perlu diposisikan sebagai alat pendukung profesionalisme guru, bukan sebagai pengganti peran guru dalam proses pembelajaran. Integrasi AI yang dirancang secara tepat diharapkan dapat meningkatkan kualitas asesmen formatif dan mendukung terciptanya pembelajaran IPA yang lebih efektif, adaptif, dan bermakna di sekolah dasar.

Kata kunci: Artificial Intelligence, asesmen formatif, pembelajaran IPA, sekolah dasar, teknologi pendidikan.



Copyright ©2026 Prosiding Konferensi Ilmiah Dasar

Published by Universitas PGRI Madiun. This work is licensed under the Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International License.

PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi digital telah membawa perubahan yang signifikan dalam berbagai aspek kehidupan, termasuk pada bidang pendidikan. Memasuki era Revolusi Industri 4.0 dan Society 5.0, integrasi teknologi digital menjadi bagian penting dalam upaya meningkatkan kualitas proses pembelajaran agar lebih adaptif, efektif, dan berpusat pada peserta didik. Salah satu teknologi yang berkembang sangat pesat adalah *Artificial Intelligence* (AI), yaitu teknologi yang memungkinkan sistem komputer melakukan berbagai aktivitas yang umumnya membutuhkan kecerdasan manusia, seperti menganalisis data, mengenali pola, menghasilkan informasi, hingga memberikan rekomendasi secara otomatis. Dalam konteks pendidikan, AI mulai dimanfaatkan untuk mendukung perencanaan pembelajaran, penyusunan bahan ajar, asesmen, pemberian umpan balik, serta analisis hasil belajar siswa. Pemanfaatan AI memberikan peluang bagi guru untuk meningkatkan kualitas pembelajaran melalui proses yang lebih efisien sekaligus tetap memperhatikan kebutuhan belajar setiap peserta didik.

Pemanfaatan AI dalam dunia pendidikan mengalami peningkatan yang sangat pesat sejak hadirnya berbagai aplikasi berbasis *Generative Artificial Intelligence* seperti ChatGPT, Google Gemini, Microsoft Copilot, Claude AI, MagicSchool AI, Khanmigo, Diffit, Canva AI, serta berbagai platform asesmen digital yang mengintegrasikan kecerdasan buatan. Berbagai platform tersebut mampu membantu guru menyusun perangkat pembelajaran, menghasilkan soal sesuai capaian pembelajaran, membuat rubrik penilaian, memberikan umpan balik secara otomatis, hingga menganalisis capaian belajar peserta didik berdasarkan data yang diperoleh selama proses pembelajaran. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa AI tidak lagi dipandang sebagai teknologi masa depan, melainkan telah menjadi salah satu inovasi yang mulai diterapkan dalam praktik pendidikan di berbagai negara.

Di Indonesia, pemanfaatan AI juga mulai mendapat perhatian seiring dengan transformasi digital pendidikan yang didorong oleh pemerintah melalui implementasi Kurikulum Merdeka. Kurikulum Merdeka menempatkan asesmen sebagai bagian integral dari proses pembelajaran yang bertujuan memperoleh informasi mengenai perkembangan kompetensi peserta didik secara berkelanjutan. Guru tidak hanya dituntut melakukan penilaian hasil belajar pada akhir pembelajaran, tetapi juga melakukan asesmen selama proses pembelajaran berlangsung untuk memperoleh gambaran mengenai kebutuhan belajar siswa. Oleh karena itu, penggunaan teknologi yang mampu membantu guru dalam melaksanakan asesmen secara efektif menjadi semakin penting.

Pada jenjang sekolah dasar, pembelajaran Ilmu Pengetahuan Alam (IPA) memiliki karakteristik yang menekankan pada pengembangan keterampilan proses sains, kemampuan berpikir kritis, pemecahan masalah, serta pembentukan sikap ilmiah melalui pengalaman belajar secara langsung. Pembelajaran IPA tidak hanya berorientasi pada penguasaan konsep, tetapi juga mendorong peserta didik untuk melakukan pengamatan, penyelidikan, eksperimen sederhana, mengajukan pertanyaan, menginterpretasikan data, dan menyimpulkan hasil pengamatan. Oleh karena itu, guru memerlukan asesmen yang mampu memberikan informasi mengenai perkembangan pemahaman konseptual maupun keterampilan proses sains siswa selama kegiatan pembelajaran berlangsung.

Salah satu bentuk asesmen yang memiliki peran penting dalam mendukung pembelajaran IPA adalah asesmen formatif. Asesmen formatif merupakan proses pengumpulan informasi yang dilakukan secara berkelanjutan selama proses pembelajaran untuk mengetahui tingkat penguasaan kompetensi peserta didik sekaligus memberikan umpan balik yang dapat digunakan guru maupun siswa dalam memperbaiki proses belajar berikutnya. Berbeda dengan asesmen sumatif yang berorientasi pada penilaian akhir, asesmen formatif lebih menekankan fungsi diagnostik dan pengembangan pembelajaran. Melalui asesmen formatif, guru dapat mengidentifikasi miskonsepsi siswa sejak dini,

menentukan strategi pembelajaran yang sesuai, serta memberikan tindak lanjut berupa pengayaan maupun remediasi sesuai kebutuhan belajar peserta didik.

Berbagai penelitian menunjukkan bahwa penerapan asesmen formatif berkontribusi positif terhadap peningkatan hasil belajar, motivasi belajar, kemampuan berpikir kritis, serta keterlibatan aktif peserta didik dalam pembelajaran. Umpan balik yang diberikan secara tepat waktu memungkinkan siswa mengetahui kekuatan dan kelemahan yang dimiliki sehingga mereka dapat memperbaiki proses belajar secara mandiri. Selain itu, asesmen formatif juga mendukung implementasi pembelajaran berdiferensiasi karena guru memperoleh informasi yang lebih komprehensif mengenai karakteristik, kemampuan awal, dan perkembangan belajar setiap peserta didik.

Meskipun memiliki berbagai manfaat, implementasi asesmen formatif pada pembelajaran IPA di sekolah dasar masih menghadapi berbagai tantangan. Banyak guru mengalami keterbatasan waktu dalam menyusun instrumen asesmen yang berkualitas, mengembangkan soal dengan tingkat kesulitan yang bervariasi, memberikan umpan balik individual kepada seluruh siswa, serta melakukan analisis hasil belajar secara cepat dan akurat. Kondisi tersebut semakin kompleks ketika jumlah peserta didik dalam satu kelas relatif besar sehingga guru harus mengalokasikan waktu yang cukup banyak untuk memeriksa hasil pekerjaan siswa dan menentukan tindak lanjut pembelajaran. Akibatnya, pelaksanaan asesmen formatif sering kali belum optimal dan masih berfokus pada pemberian nilai dibandingkan pemanfaatan informasi asesmen untuk meningkatkan kualitas pembelajaran.

Permasalahan lain yang sering ditemukan adalah keterbatasan kemampuan guru dalam memanfaatkan data hasil asesmen sebagai dasar pengambilan keputusan pembelajaran. Analisis hasil belajar masih banyak dilakukan secara manual sehingga membutuhkan waktu yang relatif lama. Selain itu, penyusunan soal sering kali belum mampu mengakomodasi perbedaan kemampuan peserta didik sehingga pembelajaran berdiferensiasi belum dapat dilaksanakan secara optimal. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa guru memerlukan dukungan teknologi yang mampu membantu mengelola proses asesmen secara lebih efektif tanpa mengurangi kualitas pengambilan keputusan pedagogis.

Dalam konteks tersebut, Artificial Intelligence menawarkan berbagai potensi untuk mendukung pelaksanaan asesmen formatif pada pembelajaran IPA di sekolah dasar. AI mampu membantu guru menyusun instrumen asesmen berdasarkan tujuan pembelajaran, menghasilkan soal dengan berbagai tingkat kognitif, membuat rubrik penilaian, memberikan umpan balik yang cepat dan personal, mengidentifikasi pola kesalahan siswa, memprediksi potensi kesulitan belajar, serta menyajikan analisis hasil belajar dalam bentuk visual yang mudah dipahami. Selain itu, AI memungkinkan guru memperoleh informasi secara real time mengenai perkembangan belajar siswa sehingga keputusan pembelajaran dapat dilakukan secara lebih tepat sasaran.

Pemanfaatan AI juga berpotensi mendukung implementasi pembelajaran berdiferensiasi sebagaimana ditekankan dalam Kurikulum Merdeka. Analisis data yang dilakukan AI memungkinkan guru mengelompokkan siswa berdasarkan tingkat penguasaan kompetensi, mengidentifikasi kebutuhan belajar individu, serta merancang aktivitas pembelajaran yang sesuai dengan karakteristik peserta didik. Dengan demikian, AI tidak hanya meningkatkan efisiensi administrasi asesmen, tetapi juga memperkuat fungsi asesmen sebagai bagian dari proses pembelajaran yang berorientasi pada perkembangan setiap siswa.

Walaupun demikian, pemanfaatan AI dalam pendidikan juga menghadapi sejumlah tantangan. Beberapa di antaranya meliputi rendahnya literasi digital guru, keterbatasan infrastruktur teknologi di sekolah, perlindungan data pribadi peserta didik, kemungkinan terjadinya bias algoritma, akurasi informasi yang dihasilkan AI, serta aspek etika dalam penggunaannya. Oleh sebab itu, implementasi AI perlu dilakukan secara bijaksana dengan tetap menempatkan guru sebagai pengambil keputusan utama dalam proses pembelajaran. AI seharusnya diposisikan sebagai alat bantu profesional yang memperkuat

kompetensi pedagogik guru, bukan sebagai pengganti peran guru dalam mendidik, membimbing, dan membangun interaksi belajar yang bermakna.

Berdasarkan telaah terhadap berbagai penelitian terkini, sebagian besar kajian masih berfokus pada penggunaan AI dalam pembelajaran secara umum, pengembangan media pembelajaran berbasis AI, atau pemanfaatan AI dalam pendidikan tinggi. Penelitian yang secara khusus mengkaji peran AI sebagai pendukung asesmen formatif pada pembelajaran IPA di sekolah dasar masih relatif terbatas. Selain itu, belum banyak kajian yang mengintegrasikan konsep asesmen formatif, pembelajaran berdiferensiasi, serta pemanfaatan AI dalam satu kerangka konseptual yang komprehensif. Kesenjangan tersebut menunjukkan adanya kebutuhan akan kajian yang lebih mendalam mengenai bagaimana AI dapat dimanfaatkan secara optimal untuk mendukung pelaksanaan asesmen formatif pada pembelajaran IPA di sekolah dasar.

Berdasarkan uraian tersebut, artikel ini bertujuan untuk menganalisis pemanfaatan Artificial Intelligence sebagai pendukung asesmen formatif dalam pembelajaran IPA di sekolah dasar melalui kajian sistematis terhadap berbagai penelitian terkini. Kajian ini diharapkan dapat memberikan gambaran mengenai bentuk-bentuk implementasi AI, manfaat yang diperoleh dalam pelaksanaan asesmen formatif, tantangan yang dihadapi selama implementasi, serta implikasinya terhadap peningkatan kualitas pembelajaran IPA di sekolah dasar. Hasil kajian diharapkan dapat menjadi referensi bagi guru, peneliti, dan pengambil kebijakan dalam mengembangkan strategi integrasi AI yang efektif, etis, dan berorientasi pada peningkatan kualitas pembelajaran di sekolah dasar.

Artificial Intelligence dalam Mendukung Asesmen Formatif Pembelajaran IPA di Sekolah Dasar.

Artificial Intelligence (AI) merupakan cabang ilmu komputer yang berfokus pada pengembangan sistem yang mampu meniru kemampuan kognitif manusia, seperti mengenali pola, menganalisis informasi, menghasilkan prediksi, serta memberikan rekomendasi berdasarkan data yang tersedia. Dalam bidang pendidikan, AI berkembang menjadi teknologi yang mendukung berbagai aktivitas pembelajaran, mulai dari perencanaan pembelajaran, pengembangan bahan ajar, asesmen, hingga evaluasi hasil belajar peserta didik. Kehadiran AI memberikan peluang bagi guru untuk meningkatkan efektivitas pembelajaran melalui layanan yang lebih adaptif, personal, dan berbasis data. UNESCO menegaskan bahwa pemanfaatan AI dalam pendidikan perlu diarahkan pada pendekatan yang berpusat pada manusia (*human-centred approach*), sehingga teknologi berfungsi sebagai pendukung profesionalisme guru dan peningkatan kualitas pembelajaran, bukan sebagai pengganti peran pendidik (UNESCO, 2023).

Pada pembelajaran Ilmu Pengetahuan Alam (IPA) di sekolah dasar, asesmen formatif merupakan komponen penting yang berfungsi mengumpulkan informasi mengenai perkembangan belajar peserta didik secara berkelanjutan untuk digunakan sebagai dasar perbaikan proses pembelajaran. Melalui asesmen formatif, guru dapat mengidentifikasi tingkat penguasaan konsep, menemukan miskonsepsi, serta memberikan umpan balik yang membantu peserta didik mencapai tujuan pembelajaran.

Pemanfaatan AI memberikan peluang yang besar dalam meningkatkan kualitas pelaksanaan asesmen formatif. Berbagai aplikasi berbasis AI, seperti ChatGPT, Google Gemini, Microsoft Copilot, MagicSchool AI, Diffit, maupun Quizizz AI, mampu membantu guru menyusun indikator penilaian, menghasilkan soal sesuai capaian pembelajaran, mengembangkan rubrik penilaian, serta memberikan umpan balik secara otomatis dan lebih cepat. Selain itu, AI dapat mengolah data hasil belajar dalam jumlah besar untuk mengidentifikasi pola kesalahan, tingkat penguasaan kompetensi, maupun kesulitan belajar peserta didik secara lebih efisien dibandingkan analisis manual. Dengan demikian, guru memperoleh informasi yang lebih komprehensif sebagai dasar dalam menentukan strategi pembelajaran yang sesuai dengan kebutuhan peserta didik.

Dalam konteks pembelajaran IPA, kemampuan AI untuk menganalisis respons peserta didik juga berpotensi meningkatkan kualitas umpan balik yang diberikan kepada

siswa. Umpan balik yang cepat, spesifik, dan berkelanjutan memungkinkan peserta didik mengetahui kekuatan serta kelemahan yang dimiliki sehingga mereka dapat melakukan perbaikan secara mandiri. Penelitian Li dkk. (2023) menunjukkan bahwa AI memiliki potensi besar untuk mendukung asesmen formatif dalam pendidikan sains melalui analisis respons siswa, penyediaan umpan balik adaptif, serta dukungan terhadap pengambilan keputusan pembelajaran. Sejalan dengan itu, Zhai dan Nehm (2023) berpendapat bahwa AI telah menjadi bagian dari praktik asesmen formatif modern dan mampu membantu guru mengambil keputusan pembelajaran berdasarkan bukti hasil belajar peserta didik.

Keunggulan lain AI adalah kemampuannya mendukung implementasi pembelajaran berdiferensiasi. Melalui analisis data hasil asesmen, AI dapat mengidentifikasi karakteristik peserta didik berdasarkan tingkat kemampuan, perkembangan kompetensi, maupun kebutuhan belajar yang berbeda. Informasi tersebut membantu guru merancang aktivitas pembelajaran, remediasi, maupun pengayaan secara lebih tepat sasaran. Dengan demikian, asesmen formatif tidak lagi hanya berfungsi sebagai alat evaluasi, tetapi juga sebagai dasar penyusunan pembelajaran yang lebih personal dan berpusat pada peserta didik sesuai dengan semangat Kurikulum Merdeka.

Meskipun menawarkan berbagai manfaat, implementasi AI dalam asesmen formatif juga menghadapi sejumlah tantangan. UNESCO mengingatkan bahwa penggunaan AI dalam pendidikan harus memperhatikan aspek etika, perlindungan data pribadi, transparansi algoritma, serta kesiapan kompetensi digital guru. Selain itu, keluaran yang dihasilkan AI masih berpotensi mengandung bias, ketidakakuratan informasi (*hallucination*), maupun rekomendasi yang kurang sesuai dengan konteks pembelajaran apabila tidak divalidasi oleh guru. Oleh karena itu, penggunaan AI memerlukan pengawasan profesional sehingga keputusan pedagogis tetap berada di tangan guru sebagai pendidik.

Berdasarkan uraian tersebut, dapat dipahami bahwa Artificial Intelligence memiliki potensi besar dalam mendukung pelaksanaan asesmen formatif pada pembelajaran IPA di sekolah dasar, terutama melalui penyusunan instrumen asesmen, analisis hasil belajar, pemberian umpan balik adaptif, serta penyediaan informasi untuk pembelajaran berdiferensiasi. Namun, keberhasilan implementasinya sangat bergantung pada kesiapan guru, dukungan infrastruktur digital, kebijakan sekolah, dan penerapan prinsip-prinsip etis dalam pemanfaatan teknologi. Oleh karena itu, AI perlu diposisikan sebagai instrumen pendukung profesionalisme guru yang mampu meningkatkan kualitas asesmen formatif tanpa menghilangkan peran sentral guru dalam membimbing proses belajar peserta didik.

Tantangan dan Peluang Implementasi Artificial Intelligence dalam Asesmen Formatif Pembelajaran IPA di Sekolah Dasar.

Implementasi Artificial Intelligence (AI) dalam asesmen formatif membuka peluang besar bagi peningkatan kualitas pembelajaran di sekolah dasar. AI tidak hanya mampu mengotomatisasi proses penyusunan instrumen penilaian, tetapi juga mendukung analisis hasil belajar secara cepat, akurat, dan berbasis data. Melalui kemampuan *machine learning* dan *learning analytics*, AI dapat mengidentifikasi pola pencapaian belajar peserta didik, mendeteksi miskonsepsi, serta memberikan rekomendasi tindak lanjut pembelajaran yang sesuai dengan kebutuhan individu. Kemampuan tersebut menjadikan AI sebagai salah satu inovasi yang mendukung terciptanya pembelajaran yang adaptif dan berpusat pada peserta didik (Luckin & Cukurova, 2019; UNESCO, 2023).

Selain meningkatkan efisiensi asesmen, AI juga berkontribusi dalam mendukung implementasi pembelajaran berdiferensiasi. Analisis data yang dilakukan AI memungkinkan guru memperoleh informasi mengenai kemampuan awal, perkembangan belajar, serta kebutuhan belajar setiap peserta didik. Informasi tersebut menjadi dasar bagi guru dalam menentukan strategi pembelajaran, menyusun kegiatan remedial maupun pengayaan, serta memilih metode pembelajaran yang sesuai dengan karakteristik siswa. Dengan demikian, pemanfaatan AI sejalan dengan prinsip Kurikulum Merdeka yang

menempatkan peserta didik sebagai pusat pembelajaran dan memberikan layanan pendidikan sesuai dengan kebutuhan individual mereka (Kementerian Pendidikan, Kebudayaan, Riset, dan Teknologi, 2022).

Meskipun menawarkan berbagai manfaat, implementasi AI dalam asesmen formatif masih menghadapi berbagai tantangan. Salah satu tantangan utama adalah rendahnya literasi digital sebagian guru sekolah dasar. Tidak semua guru memiliki kompetensi dalam memanfaatkan aplikasi berbasis AI secara optimal sehingga penggunaan teknologi sering kali masih terbatas pada fungsi-fungsi dasar. Selain itu, keterbatasan sarana dan prasarana teknologi, seperti akses internet yang belum merata, ketersediaan perangkat digital, dan dukungan infrastruktur sekolah, juga memengaruhi keberhasilan implementasi AI dalam pembelajaran (UNESCO, 2023).

Aspek etika juga menjadi perhatian penting dalam penggunaan AI di bidang pendidikan. Sistem AI bekerja berdasarkan data yang dimasukkan sehingga kualitas keluaran sangat dipengaruhi oleh kualitas data dan algoritma yang digunakan. Beberapa penelitian menunjukkan bahwa AI berpotensi menghasilkan informasi yang kurang akurat (*hallucination*), mengandung bias algoritmik, atau memberikan rekomendasi yang tidak sesuai dengan konteks pembelajaran apabila tidak dilakukan proses verifikasi oleh guru. Oleh karena itu, guru tetap memiliki peran utama dalam mengevaluasi hasil yang dihasilkan AI sebelum digunakan dalam proses pembelajaran maupun asesmen. Penggunaan AI harus mengedepankan prinsip transparansi, akuntabilitas, perlindungan data pribadi peserta didik, serta menjunjung tinggi etika pendidikan (Holmes et al., 2022; UNESCO, 2023).

Selain aspek teknis dan etis, keberhasilan implementasi AI juga dipengaruhi oleh dukungan kebijakan pendidikan serta program pengembangan profesional guru. Pelatihan mengenai literasi kecerdasan buatan, pengembangan kompetensi digital, serta pemahaman tentang desain asesmen formatif berbasis teknologi perlu diberikan secara berkelanjutan agar guru mampu memanfaatkan AI secara efektif. Dukungan tersebut penting karena teknologi hanya akan memberikan dampak positif apabila digunakan oleh pendidik yang memiliki kompetensi pedagogik, profesional, dan digital yang memadai (OECD, 2023).

Berdasarkan berbagai hasil penelitian, dapat dipahami bahwa AI memiliki potensi yang besar untuk meningkatkan kualitas asesmen formatif dalam pembelajaran IPA di sekolah dasar melalui penyusunan instrumen yang lebih adaptif, pemberian umpan balik yang cepat, analisis hasil belajar secara komprehensif, serta dukungan terhadap pembelajaran berdiferensiasi. Namun demikian, pemanfaatannya perlu diimbangi dengan peningkatan kompetensi digital guru, penyediaan infrastruktur teknologi yang memadai, penyusunan pedoman etika penggunaan AI, serta kebijakan yang menjamin keamanan data peserta didik. Dengan demikian, AI dapat dimanfaatkan secara optimal sebagai alat pendukung profesionalisme guru dalam menciptakan pembelajaran IPA yang lebih efektif, bermakna, dan berorientasi pada kebutuhan peserta didik.

METODE

Penelitian ini menggunakan pendekatan **Systematic Literature Review (SLR)** untuk mengidentifikasi, mengevaluasi, dan mensintesis berbagai hasil penelitian mengenai pemanfaatan *Artificial Intelligence* (AI) sebagai pendukung asesmen formatif dalam pembelajaran Ilmu Pengetahuan Alam (IPA) di sekolah dasar. Pendekatan SLR dipilih karena mampu memberikan sintesis bukti ilmiah secara sistematis, transparan, dan dapat dipertanggungjawabkan dibandingkan kajian pustaka naratif. Melalui pendekatan ini, berbagai hasil penelitian yang memiliki fokus serupa dapat dianalisis secara komprehensif sehingga menghasilkan gambaran yang lebih utuh mengenai perkembangan penelitian, manfaat, tantangan, serta implikasi penerapan AI dalam asesmen formatif (Page et al., 2021).

Jenis Penelitian

Penelitian ini merupakan penelitian kepustakaan (*library research*) yang dilaksanakan melalui metode **Systematic Literature Review (SLR)**. Kajian difokuskan pada artikel ilmiah yang membahas integrasi Artificial Intelligence dalam asesmen formatif, pembelajaran IPA, teknologi pendidikan, dan pembelajaran sekolah dasar. Menurut Snyder (2019), *systematic literature review* merupakan metode yang bertujuan mengidentifikasi, menilai, dan mengintegrasikan berbagai hasil penelitian yang relevan sehingga mampu menghasilkan pemahaman konseptual yang lebih mendalam terhadap suatu topik penelitian. Oleh karena itu, metode ini dipandang sesuai untuk menjawab tujuan penelitian yang berorientasi pada sintesis hasil penelitian sebelumnya.

Strategi Pencarian Literatur

Proses pencarian literatur dilakukan secara sistematis pada bulan Januari–Februari 2026 melalui beberapa basis data ilmiah bereputasi, yaitu **Scopus, Web of Science, ERIC, ScienceDirect, SpringerLink, Google Scholar, Directory of Open Access Journals (DOAJ)**, dan **Garuda**. Kata kunci yang digunakan meliputi *Artificial Intelligence, Generative AI, ChatGPT, formative assessment, science education, elementary school, primary education, pembelajaran IPA*, dan *asesmen formatif*. Pencarian dilakukan menggunakan operator Boolean **AND** dan **OR** untuk memperoleh artikel yang memiliki relevansi tinggi terhadap fokus penelitian. Penggunaan beberapa pangkalan data dimaksudkan agar cakupan literatur lebih luas sekaligus meminimalkan kemungkinan terlewatnya penelitian yang relevan (Xiao & Watson, 2019).

Kriteria Inklusi dan Eksklusi

Artikel yang dianalisis ditentukan berdasarkan kriteria inklusi dan eksklusi agar proses seleksi berlangsung secara objektif. Kriteria inklusi meliputi: (1) artikel jurnal yang telah melalui proses *peer review*; (2) diterbitkan pada rentang tahun **2022–2026**; (3) membahas Artificial Intelligence dalam bidang pendidikan, asesmen formatif, atau pembelajaran IPA sekolah dasar; (4) ditulis dalam bahasa Indonesia atau bahasa Inggris; serta (5) tersedia dalam bentuk *full text*. Adapun kriteria eksklusi meliputi artikel yang tidak memiliki relevansi langsung dengan topik penelitian, artikel duplikat, prosiding yang tidak melalui proses penelaahan sejawat (*peer review*), laporan populer, opini, serta artikel yang tidak menyediakan informasi metodologi secara jelas. Penetapan kriteria tersebut bertujuan meningkatkan kualitas bukti ilmiah yang digunakan dalam proses sintesis (Page et al., 2021).

Prosedur Penelitian

Tahapan penelitian mengikuti pedoman **Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses (PRISMA 2020)** yang terdiri atas empat tahap utama, yaitu **identification, screening, eligibility**, dan **included**. Tahap identifikasi dilakukan dengan mengumpulkan seluruh artikel yang diperoleh dari berbagai basis data. Selanjutnya dilakukan proses penyaringan berdasarkan judul, abstrak, dan kata kunci untuk menghilangkan artikel yang tidak relevan. Tahap berikutnya adalah penilaian kelayakan (*eligibility*) melalui pembacaan naskah secara utuh sehingga hanya artikel yang memenuhi seluruh kriteria inklusi yang dipertahankan. Pada tahap akhir, artikel yang lolos seleksi dianalisis dan disintesis untuk menjawab tujuan penelitian. Penggunaan alur PRISMA membantu meningkatkan transparansi proses seleksi literatur sehingga hasil kajian menjadi lebih valid dan mudah direplikasi oleh peneliti lain (Page et al., 2021).

Teknik Pengumpulan Data

Data penelitian berupa data sekunder yang diperoleh dari artikel ilmiah, buku akademik, dokumen kebijakan pendidikan, dan laporan penelitian yang berkaitan dengan pemanfaatan Artificial Intelligence dalam asesmen formatif. Setiap artikel yang memenuhi kriteria seleksi selanjutnya diekstraksi menggunakan lembar analisis data yang memuat

informasi mengenai identitas penulis, tahun publikasi, negara penelitian, tujuan penelitian, metode penelitian, jenis AI yang digunakan, bentuk implementasi asesmen formatif, manfaat, tantangan, serta rekomendasi penelitian. Teknik ekstraksi data dilakukan secara sistematis untuk menjaga konsistensi informasi yang diperoleh dari setiap artikel (Snyder, 2019).

Teknik Analisis Data

Analisis data dilakukan menggunakan teknik **narrative synthesis** yang dipadukan dengan model analisis interaktif Miles dan Huberman. Tahapan analisis meliputi **reduksi data, penyajian data**, serta **penarikan dan verifikasi kesimpulan**. Pada tahap reduksi data dilakukan proses pengelompokan artikel berdasarkan tema-tema utama, seperti pengembangan instrumen asesmen berbasis AI, pemberian umpan balik otomatis, analisis hasil belajar, pembelajaran berdiferensiasi, serta tantangan implementasi AI dalam pembelajaran IPA. Selanjutnya data disajikan dalam bentuk tabel sintesis dan uraian naratif sehingga memudahkan proses identifikasi pola temuan penelitian. Tahap terakhir dilakukan melalui interpretasi hasil sintesis untuk memperoleh kesimpulan mengenai peluang, tantangan, dan implikasi pemanfaatan Artificial Intelligence sebagai pendukung asesmen formatif pada pembelajaran IPA di sekolah dasar (Miles, Huberman, & Saldaña, 2014).

HASIL PENELITIAN

Hasil penelitian ini diperoleh melalui sintesis terhadap artikel-artikel yang memenuhi kriteria inklusi mengenai pemanfaatan *Artificial Intelligence* (AI) sebagai pendukung asesmen formatif dalam pembelajaran IPA di sekolah dasar. Analisis menunjukkan bahwa perkembangan penelitian mengenai AI dalam pendidikan mengalami peningkatan yang signifikan sejak munculnya teknologi *Generative Artificial Intelligence* seperti ChatGPT, Google Gemini, dan berbagai sistem pembelajaran adaptif. Perkembangan tersebut menunjukkan bahwa AI tidak hanya dimanfaatkan sebagai media pembelajaran, tetapi juga sebagai teknologi yang mampu mendukung proses asesmen, analisis hasil belajar, pemberian umpan balik, serta pengambilan keputusan pembelajaran berbasis data.

Karakteristik Penelitian

Hasil sintesis menunjukkan bahwa penelitian mengenai Artificial Intelligence dalam bidang pendidikan mengalami peningkatan yang cukup pesat dalam lima tahun terakhir. Mayoritas penelitian diterbitkan setelah berkembangnya teknologi *Generative Artificial Intelligence* yang mendorong pemanfaatan AI dalam penyusunan perangkat pembelajaran, pengembangan asesmen, analisis hasil belajar, hingga pemberian umpan balik secara otomatis. Sebagian besar penelitian menggunakan pendekatan kuantitatif, *mixed methods*, dan *systematic literature review*, sedangkan penelitian eksperimen pada jenjang sekolah dasar masih relatif terbatas.

Tabel 1. Karakteristik Penelitian yang Dianalisis

Karakteristik	Hasil sintesis
Tahun publikasi	2022-2026
Jenis publikasi	Jurnal internasional dan nasional
Pendekatan penelitian	Kuantitatif,kualitatif,mixed method,dan SLR
Bidang kajian	Artificial Intelligence, asesmen formatif, teknologi pendidikan, pembelajaran IPA
jenjang pendidikan	SD, SMP, SMA, dan Perguruan Tinggi

Berdasarkan Tabel 1, terlihat bahwa penelitian mengenai AI tidak lagi hanya berfokus pada pengembangan media pembelajaran, tetapi mulai diarahkan pada pemanfaatan AI sebagai sistem pendukung pembelajaran (*intelligent learning support system*). Pergeseran tersebut menunjukkan bahwa AI memiliki fungsi yang lebih luas, yaitu membantu guru dalam mengambil keputusan pembelajaran berdasarkan data hasil asesmen yang diperoleh selama proses belajar berlangsung.

Bentuk Pemanfaatan Artificial Intelligence dalam Asesmen Formatif

Dampak Pemanfaatan Artificial Intelligence terhadap Asesmen Formatif

Sintesis berbagai penelitian menunjukkan bahwa penggunaan AI memberikan dampak positif terhadap kualitas pelaksanaan asesmen formatif. AI membantu guru menyusun instrumen penilaian yang lebih variatif, mempercepat proses koreksi, memberikan umpan balik individual, serta menganalisis perkembangan belajar peserta didik secara lebih komprehensif. Analisis tersebut memungkinkan guru mengetahui kompetensi yang telah dikuasai maupun materi yang masih memerlukan penguatan sehingga tindak lanjut pembelajaran dapat dilakukan secara lebih tepat.

Selain meningkatkan efisiensi kerja guru, penggunaan AI juga berdampak terhadap peningkatan kualitas pengalaman belajar peserta didik. Umpan balik yang diberikan secara cepat mendorong peserta didik melakukan refleksi terhadap hasil belajar yang diperoleh. Peserta didik dapat mengetahui letak kesalahan yang dilakukan serta memperoleh rekomendasi untuk memperbaiki pemahamannya sebelum melanjutkan ke materi berikutnya. Kondisi tersebut memperkuat fungsi asesmen formatif sebagai proses pembelajaran yang berorientasi pada perbaikan belajar secara berkelanjutan.

Hasil kajian juga menunjukkan bahwa AI mendukung implementasi pembelajaran berdiferensiasi. Melalui analisis data hasil asesmen, AI mampu mengelompokkan peserta didik berdasarkan tingkat penguasaan kompetensi sehingga guru dapat memberikan layanan pembelajaran yang lebih sesuai dengan kebutuhan masing-masing siswa. Dengan demikian, pembelajaran menjadi lebih adaptif, personal, dan berpusat pada peserta didik.

Tantangan Implementasi Artificial Intelligence

Walaupun memberikan berbagai manfaat, implementasi AI dalam asesmen formatif masih menghadapi sejumlah tantangan. Hasil sintesis menunjukkan bahwa rendahnya literasi digital guru merupakan kendala yang paling sering ditemukan. Sebagian guru belum memiliki kompetensi yang memadai dalam memanfaatkan aplikasi berbasis AI sehingga penggunaan teknologi masih terbatas pada fungsi-fungsi sederhana.

Selain kompetensi guru, keterbatasan infrastruktur teknologi juga menjadi faktor yang memengaruhi keberhasilan implementasi AI di sekolah dasar. Ketersediaan perangkat digital, kualitas jaringan internet, serta dukungan kebijakan sekolah menjadi prasyarat penting agar pemanfaatan AI dapat berjalan secara optimal. Sekolah yang memiliki fasilitas teknologi lebih baik cenderung lebih mudah mengintegrasikan AI ke dalam proses asesmen dibandingkan sekolah yang masih memiliki keterbatasan sarana.

Aspek etika juga menjadi perhatian penting dalam berbagai penelitian. Penggunaan AI berpotensi menimbulkan permasalahan terkait keamanan data peserta didik, bias algoritma, serta kemungkinan munculnya informasi yang kurang akurat (*hallucination*). Oleh karena itu, seluruh hasil yang dihasilkan AI tetap memerlukan proses verifikasi oleh guru. AI tidak dapat menggantikan pertimbangan pedagogis guru karena keputusan pembelajaran tetap harus mempertimbangkan karakteristik peserta didik, tujuan pembelajaran, serta konteks sosial budaya sekolah.

Sintesis Temuan Penelitian

Secara keseluruhan, hasil penelitian menunjukkan bahwa Artificial Intelligence memiliki potensi yang sangat besar sebagai pendukung asesmen formatif dalam pembelajaran IPA di sekolah dasar. AI mampu meningkatkan efisiensi penyusunan instrumen asesmen, mempercepat pemberian umpan balik, membantu analisis hasil

belajar, serta mendukung implementasi pembelajaran berdiferensiasi. Namun demikian, keberhasilan implementasi AI tidak hanya ditentukan oleh kecanggihan teknologi, tetapi juga dipengaruhi oleh kompetensi digital guru, kesiapan infrastruktur, dukungan kebijakan sekolah, serta penerapan prinsip etika dalam penggunaan AI. Oleh karena itu, pemanfaatan AI perlu diposisikan sebagai teknologi pendukung yang memperkuat profesionalisme guru sehingga asesmen formatif dapat dilaksanakan secara lebih efektif, adaptif, dan bermakna bagi peserta didik.

PEMBAHASAN

Hasil penelitian menunjukkan bahwa pemanfaatan *Artificial Intelligence* (AI) berpotensi meningkatkan kualitas pelaksanaan asesmen formatif dalam pembelajaran IPA di sekolah dasar. Temuan ini mengindikasikan bahwa AI tidak hanya berfungsi sebagai teknologi pendukung administrasi pembelajaran, tetapi juga sebagai alat yang mampu membantu guru dalam memperoleh informasi mengenai perkembangan belajar peserta didik secara lebih cepat dan akurat. Pemanfaatan AI dalam asesmen formatif sejalan dengan konsep asesmen yang dikemukakan oleh Black dan Wiliam (2009), yaitu asesmen yang digunakan untuk memperoleh informasi mengenai proses belajar peserta didik sehingga hasilnya dapat dimanfaatkan sebagai dasar perbaikan pembelajaran.

Berdasarkan hasil sintesis, bentuk pemanfaatan AI yang paling banyak ditemukan meliputi penyusunan instrumen asesmen, pembuatan rubrik penilaian, analisis hasil belajar, serta pemberian umpan balik secara otomatis. Temuan tersebut menunjukkan bahwa AI mampu mengurangi beban administratif guru sehingga waktu yang tersedia dapat dialihkan untuk merancang pembelajaran yang lebih berkualitas. UNESCO (2023) menjelaskan bahwa pemanfaatan AI dalam pendidikan memberikan peluang untuk meningkatkan efisiensi kerja pendidik melalui otomatisasi berbagai tugas rutin tanpa menghilangkan peran guru sebagai pengambil keputusan pedagogis. Dengan demikian, AI berfungsi sebagai teknologi pendukung (*teacher augmentation*) yang memperkuat profesionalisme guru dalam melaksanakan pembelajaran.

Pada pembelajaran IPA di sekolah dasar, asesmen formatif memiliki karakteristik yang berbeda dibandingkan asesmen sumatif karena dilaksanakan selama proses pembelajaran berlangsung. Guru tidak hanya menilai hasil akhir, tetapi juga memantau perkembangan pemahaman konsep, keterampilan proses sains, serta kemampuan berpikir ilmiah peserta didik. Oleh karena itu, keberadaan AI menjadi sangat relevan karena mampu mengolah data hasil asesmen secara cepat sehingga guru dapat segera memberikan umpan balik sesuai kebutuhan peserta didik. Menurut Black dan Wiliam (2009), umpan balik yang diberikan secara tepat waktu merupakan salah satu faktor utama yang menentukan efektivitas asesmen formatif dalam meningkatkan hasil belajar.

Temuan penelitian juga menunjukkan bahwa AI mendukung implementasi pembelajaran berdiferensiasi melalui analisis data hasil belajar peserta didik. AI mampu mengidentifikasi tingkat penguasaan kompetensi, pola kesalahan, serta kebutuhan belajar setiap peserta didik sehingga guru lebih mudah menentukan kegiatan remedial maupun pengayaan. Kondisi tersebut sejalan dengan implementasi Kurikulum Merdeka yang menempatkan asesmen formatif sebagai dasar penyusunan pembelajaran yang berpusat pada peserta didik. Dengan memanfaatkan AI, guru memperoleh informasi yang lebih komprehensif untuk

merancang strategi pembelajaran yang sesuai dengan karakteristik individu peserta didik.

Selain memberikan manfaat terhadap guru, hasil penelitian menunjukkan bahwa AI juga memberikan dampak positif terhadap peserta didik. Penyediaan umpan balik secara cepat dan personal membantu peserta didik melakukan refleksi terhadap proses belajar yang telah dilakukan. Peserta didik dapat mengetahui kesalahan yang masih terjadi, memahami konsep yang belum dikuasai, serta memperoleh rekomendasi langkah perbaikan secara lebih terarah. Hal tersebut menunjukkan bahwa AI mendukung terbentuknya pembelajaran yang bersifat adaptif (*adaptive learning*), yaitu pembelajaran yang menyesuaikan materi maupun aktivitas belajar berdasarkan kebutuhan peserta didik.

Meskipun demikian, hasil penelitian juga mengidentifikasi beberapa tantangan dalam implementasi AI pada asesmen formatif. Tantangan yang paling dominan adalah rendahnya kompetensi digital guru, keterbatasan infrastruktur teknologi, serta aspek etika penggunaan AI. UNESCO (2023) menegaskan bahwa implementasi AI dalam pendidikan harus memperhatikan keamanan data peserta didik, transparansi algoritma, serta akuntabilitas penggunaan teknologi. Selain itu, hasil keluaran AI masih berpotensi menghasilkan informasi yang kurang tepat (*hallucination*) sehingga memerlukan proses verifikasi oleh guru sebelum digunakan sebagai dasar pengambilan keputusan pembelajaran.

Temuan lainnya menunjukkan bahwa keberhasilan implementasi AI tidak hanya ditentukan oleh kecanggihan teknologi, tetapi juga dipengaruhi oleh kesiapan ekosistem pendidikan. Sekolah memerlukan dukungan kebijakan, infrastruktur digital, serta program peningkatan kompetensi guru agar pemanfaatan AI dapat berjalan secara optimal. Guru perlu memiliki kemampuan dalam merancang *prompt*, mengevaluasi hasil keluaran AI, serta mengintegrasikan informasi tersebut ke dalam proses pembelajaran sesuai karakteristik peserta didik. Dengan demikian, AI tidak menggantikan peran guru, tetapi memperkuat kemampuan guru dalam melaksanakan asesmen formatif secara lebih efektif.

Secara keseluruhan, hasil penelitian memperlihatkan bahwa pemanfaatan Artificial Intelligence sebagai pendukung asesmen formatif memberikan kontribusi positif terhadap peningkatan kualitas pembelajaran IPA di sekolah dasar. AI mampu meningkatkan efisiensi penyusunan asesmen, mempercepat pemberian umpan balik, mendukung analisis hasil belajar, serta memfasilitasi pembelajaran berdiferensiasi. Namun demikian, keberhasilan implementasinya memerlukan penguatan kompetensi digital guru, penyediaan infrastruktur yang memadai, serta penerapan prinsip etika dalam penggunaan teknologi. Oleh karena itu, integrasi AI dalam asesmen formatif hendaknya dipandang sebagai strategi inovatif untuk meningkatkan kualitas pembelajaran tanpa mengurangi peran sentral guru sebagai fasilitator dan pengambil keputusan pedagogis.

SIMPULAN

Berdasarkan hasil **Systematic Literature Review (SLR)** terhadap berbagai penelitian mengenai pemanfaatan *Artificial Intelligence* (AI) sebagai pendukung asesmen formatif dalam pembelajaran Ilmu Pengetahuan Alam (IPA) di sekolah dasar, dapat disimpulkan bahwa AI memiliki potensi yang signifikan dalam meningkatkan kualitas proses asesmen dan pembelajaran. AI mampu mendukung guru pada berbagai tahapan asesmen formatif, mulai dari penyusunan instrumen penilaian, pengembangan rubrik, analisis hasil belajar, pemberian umpan balik

yang cepat dan personal, hingga penyusunan rekomendasi tindak lanjut pembelajaran berdasarkan kebutuhan peserta didik.

Hasil sintesis menunjukkan bahwa penggunaan AI berkontribusi terhadap peningkatan efisiensi pelaksanaan asesmen formatif melalui otomatisasi berbagai tugas administratif sehingga guru memiliki lebih banyak kesempatan untuk memfokuskan perhatian pada proses pembelajaran dan pendampingan peserta didik. Selain itu, kemampuan AI dalam menganalisis data hasil belajar memungkinkan guru mengidentifikasi tingkat penguasaan kompetensi, kesulitan belajar, serta miskonsepsi peserta didik secara lebih akurat. Informasi tersebut mendukung implementasi pembelajaran berdiferensiasi dan pengambilan keputusan pembelajaran yang berbasis data (*data-driven instruction*), sehingga proses pembelajaran IPA menjadi lebih adaptif, efektif, dan berpusat pada peserta didik.

Meskipun demikian, implementasi AI dalam asesmen formatif masih menghadapi berbagai tantangan. Kompetensi digital guru yang belum merata, keterbatasan infrastruktur teknologi di sekolah, keamanan data peserta didik, serta potensi bias maupun ketidakakuratan keluaran AI menjadi faktor yang perlu mendapatkan perhatian. Oleh karena itu, AI tidak dapat diposisikan sebagai pengganti guru, melainkan sebagai teknologi pendukung yang memperkuat profesionalisme guru dalam merancang, melaksanakan, dan mengevaluasi pembelajaran. Keputusan pedagogis tetap harus berada di tangan guru melalui proses verifikasi dan penyesuaian terhadap konteks pembelajaran.

Secara keseluruhan, pemanfaatan Artificial Intelligence dalam asesmen formatif memberikan peluang besar untuk meningkatkan kualitas pembelajaran IPA di sekolah dasar, terutama dalam mendukung implementasi Kurikulum Merdeka yang menekankan asesmen sebagai bagian integral dari proses belajar. Integrasi AI yang dilakukan secara bertanggung jawab, didukung oleh peningkatan kompetensi digital guru, penyediaan infrastruktur yang memadai, serta kebijakan yang menjamin penggunaan AI secara etis, diharapkan mampu menciptakan pembelajaran yang lebih inovatif, inklusif, adaptif, dan berorientasi pada peningkatan hasil belajar peserta didik.

DAFTAR PUSTAKA

1. Holmes, W., Bialik, M., & Fadel, C. (2022). *Artificial Intelligence in Education: Promises and Implications for Teaching and Learning*. Boston, MA: Center for Curriculum Redesign.
2. Kementerian Pendidikan, Kebudayaan, Riset, dan Teknologi. (2022). *Panduan Pembelajaran dan Asesmen pada Kurikulum Merdeka*. Jakarta: Kemendikbudristek.
3. Li, H., Reigh, E., He, Y., & Miller, T. (2023). Can we and should we use artificial intelligence for formative assessment in science? *Journal of Research in Science Teaching*, 60(6), 1379–1389.
4. Luckin, R., & Cukurova, M. (2019). *Designing educational technologies in the age of AI*. London Review of Education, 17(3), 282–295.
5. Miles, M. B., Huberman, A. M., & Saldaña, J. (2014). *Qualitative data analysis: A methods sourcebook* (3rd ed.). Thousand Oaks, CA: Sage Publications.
6. OECD. (2023). *Digital Education Outlook 2023: Towards an Effective Digital Education Ecosystem*. Paris: OECD Publishing.

7. Page, M. J., McKenzie, J. E., Bossuyt, P. M., Boutron, I., Hoffmann, T. C., Mulrow, C. D., ... Moher, D. (2021). The PRISMA 2020 statement: An updated guideline for reporting systematic reviews. *BMJ*, 372, n71.
8. Snyder, H. (2019). Literature review as a research methodology: An overview and guidelines. *Journal of Business Research*, 104, 333–339.
9. UNESCO. (2023). *Guidance for generative AI in education and research*. Paris, France: UNESCO.
10. Xiao, Y., & Watson, M. (2019). Guidance on conducting a systematic literature review. *Journal of Planning Education and Research*, 39(1), 93–112.
11. Zhai, X., & Nehm, R. H. (2023). AI and formative assessment: The train has left the station. *Journal of Research in Science Teaching*, 60(6), 1390–1398.