Jurnal Pendidikan MIPA
Volume 16. Nomor 5, Tahun 2026 | ISSN: 2088-0294 | e-ISSN: 2621-9166
https://doi.org/10.37630/jpm.v16i5.5254

Literasi AI Guru dalam Pembelajaran MIPA: Sintesis Dimensi Kompetensi dan Kerangka Konseptual

Fauzi Ramadhan[1)], Cici Asih Fauziah[1)], Ida Kasdini[1)], Tri Fani Arrahmah[1)], Winsensia Yupita[1)], Sri Hapsar[1),*]

[1)]Universitas Indraprasta PGRI

*Coresponding Author: srihapsari112@gmail.com

ABSTRAK

Pemanfaatan kecerdasan buatan (AI) dalam pembelajaran matematika dan ilmu pengetahuan alam (MIPA) menuntut kompetensi guru yang melampaui keterampilan mengoperasikan aplikasi dan menyusun instruksi. Kajian ini bertujuan menyintesis konsep dan dimensi literasi AI guru, mengidentifikasi kebutuhan khusus MIPA, serta menyusun kerangka konseptual awal. Metode yang digunakan adalah kajian literatur naratif dengan pemetaan deskriptif dan sintesis tematik terhadap publikasi ilmiah serta dokumen kerangka kompetensi. Sintesis merumuskan lima ranah yang saling berkaitan, yaitu pengetahuan AI, penggunaan AI, evaluasi kritis, integrasi pedagogis, serta etika dan tanggung jawab. Kekhasan MIPA terletak pada verifikasi keabsahan matematis, ketepatan konsep dan representasi sains, serta kesesuaian data, bukti, dan kesimpulan. Kerangka yang diusulkan menghubungkan fondasi literasi AI, verifikasi keilmuan MIPA, dan integrasi pedagogis, dengan keputusan penggunaan AI yang bertanggung jawab sebagai pusat serta etika sebagai prinsip lintas komponen. Dengan demikian, literasi AI guru memerlukan keterpaduan penguasaan teknologi, konten, dan pertimbangan profesional. Keterbatasan dokumentasi penelusuran serta ketimpangan bukti antarbidang membatasi generalisasi sintesis. Kerangka ini belum tervalidasi dan belum membuktikan peningkatan kualitas pembelajaran. Pengembangan selanjutnya diarahkan pada validasi isi melalui Delphi, uji keterbacaan dan penerapan terbatas, serta validasi empiris berbasis tugas kinerja guru MIPA dalam konteks Indonesia.

Kata Kunci: Literasi AI; Guru MIPA; Evaluasi Kritis; Kerangka Konseptual; Kompetensi Guru; Kajian Literatur Naratif

This is an open access article under the CC - BY license.

PENDAHULUAN

Pemanfaatan *artificial intelligence* (AI) dalam pendidikan membuka peluang untuk mendukung penyusunan bahan ajar, pemberian umpan balik, asesmen, dan eksplorasi konsep. Dalam pembelajaran matematika dan ilmu pengetahuan alam (MIPA), penggunaannya mencakup penyusunan umpan balik terhadap jawaban konseptual fisika, penyediaan media pembelajaran biologi, serta pengembangan asisten virtual dalam kegiatan laboratorium kimia (Aripin et al., 2024; Maughan et al., 2025; Wan & Chen, 2024). Namun, kemudahan memperoleh keluaran AI tidak menjamin ketepatan isinya. Penelitian dalam pendidikan kimia menunjukkan kerentanan model yang diuji terhadap instruksi dengan asumsi keliru, sedangkan studi praktikum fisika memperlihatkan pentingnya pengetahuan awal dalam mengenali kesalahan penjelasan AI (Kilde-Westberg et al., 2025; Uçar et al., 2025). Peluang tersebut menuntut guru tidak hanya mampu menggunakan AI, tetapi juga menilai keandalan dan kesesuaian penggunaannya dalam pembelajaran.

Literasi AI memberikan landasan untuk memahami tuntutan kompetensi tersebut. Literasi ini mencakup pemahaman AI, penggunaan dan penerapan, evaluasi dan penciptaan, serta pertimbangan etis, sehingga tidak dapat disamakan dengan keterampilan menyusun instruksi atau *prompt* semata (Ng et al., 2021). Meskipun berkaitan dengan kompetensi digital, literasi AI memiliki perhatian khusus terhadap karakteristik sistem, keandalan keluaran, dan konsekuensi penggunaannya (Tenberga & Daniela, 2024). Pada tingkat profesional, kerangka UNESCO menempatkan orientasi yang berpusat pada manusia, etika, fondasi dan aplikasi AI, pedagogi, serta pengembangan profesional sebagai dimensi kompetensi guru (UNESCO, 2024). Dengan demikian, literasi AI perlu dipahami sebagai kompetensi yang menghubungkan penguasaan teknologi dengan pertimbangan profesional pendidik.

ISSN: 2088-0294 | e-ISSN: 2621-9166
https://doi.org/10.37630/jpm.v16i5.5254

Dalam pembelajaran MIPA, evaluasi keluaran AI memerlukan perhatian terhadap ketepatan konsep, keabsahan prosedur, konsistensi penalaran, kesesuaian representasi, serta dukungan bukti. Studi praktikum fisika menunjukkan contoh kesalahan satuan dan penjelasan yang memerlukan penguasaan bidang studi untuk dikenali (Kilde-Westberg et al., 2025). Penelitian terhadap calon guru kimia juga menyoroti pentingnya refleksi atas *prompt* dan penilaian terhadap jawaban AI (Tassoti, 2024). Temuan tersebut memberikan dasar untuk menghubungkan literasi AI dengan penguasaan konten MIPA. Kesadaran bahwa AI dapat menghasilkan kesalahan belum memadai apabila guru tidak mampu menjelaskan letak kesalahan dan menentukan cara memverifikasinya.

Selain persoalan keilmuan, integrasi AI menghadirkan tantangan bias, privasi data, ketergantungan pengguna, keadilan akses, dan keberlanjutan peran guru dalam pengambilan keputusan (Akmal & Riyadi, 2026; Maughan et al., 2025). Literatur tersebut memperlihatkan kebutuhan kompetensi yang melampaui penggunaan teknis. Namun, hubungan antara dimensi dalam kerangka literasi AI umum dan tuntutan verifikasi matematis serta ilmiah masih perlu diperjelas melalui sintesis lintas bidang. Kesenjangan yang menjadi perhatian artikel ini bukan ketiadaan kerangka literasi AI, melainkan kebutuhan untuk mengontekstualisasikan kerangka yang tersedia bagi keputusan pembelajaran MIPA. Kontribusi yang ditawarkan adalah penghubungan fondasi literasi AI, verifikasi keilmuan, integrasi pedagogis, dan tanggung jawab etis dalam satu kerangka konseptual awal.

Berdasarkan permasalahan tersebut, artikel ini bertujuan menyintesis konsep dan dimensi literasi AI guru, menganalisis kompetensi yang diperlukan untuk mengevaluasi keluaran AI sesuai karakteristik matematika dan sains, serta mengkaji tantangan pedagogis, epistemik, dan etis dalam penggunaannya. Sintesis tersebut diarahkan untuk menyusun kerangka konseptual awal literasi AI guru MIPA sebagai dasar pengembangan kompetensi dan penelitian empiris selanjutnya.

METODE

Penelitian ini menggunakan kajian literatur naratif dengan pemetaan deskriptif dan sintesis tematik untuk menelaah konsep, dimensi kompetensi, dan kebutuhan literasi kecerdasan artifisial (AI) guru dalam pembelajaran matematika dan ilmu pengetahuan alam (MIPA). Kajian literatur naratif dipilih untuk mengintegrasikan berbagai perspektif dan temuan sebagai dasar pengembangan argumentasi konseptual, bukan untuk mengestimasi pengaruh intervensi atau memetakan seluruh publikasi secara komprehensif (Baumeister & Leary, 1997; Snyder, 2019). Pembahasan difokuskan pada keterkaitan antara kompetensi AI umum, verifikasi keilmuan MIPA, integrasi pedagogis, dan tanggung jawab profesional guru. Unit analisis dalam kajian ini adalah publikasi ilmiah dan dokumen kerangka kompetensi yang membahas guru, calon guru, serta pendidik guru. Penelitian yang melibatkan murid dan pengujian model AI turut dipertimbangkan sebagai bukti pendukung apabila relevan dengan kebutuhan kompetensi guru. Sumber-sumber tersebut tidak diperlakukan sebagai pengukuran langsung terhadap kemampuan guru.

Penelusuran awal dilakukan pada 12–15 Oktober 2026 melalui pencarian web menggunakan istilah berbahasa Inggris dan Indonesia, antara lain *AI literacy*, *artificial intelligence literacy*, *teachers*, *teacher education*, *science education*, *mathematics education*, dan *literasi AI guru*. Sumber diperoleh dari laman penerbit jurnal, repositori institusi, dan portal penyedia teks lengkap. Penelusuran dilakukan oleh penulis dengan membagi fokus penelusuran ke dalam tiga kelompok tema, yaitu konsep dan kerangka literasi AI, penerapan AI dalam pembelajaran MIPA, serta aspek pedagogis dan etis. Hasil penelusuran dihimpun dalam tabel ekstraksi awal yang memuat 30 entri kandidat. Jumlah tersebut merupakan sumber yang terinventarisasi pada tahap awal dan tidak menunjukkan jumlah sumber yang seluruhnya digunakan dalam sintesis. Rentang tahun publikasi ditentukan berdasarkan karakteristik sumber yang terkumpul, bukan sebagai batas tahun pencarian yang ditetapkan sejak awal.

Pemilihan sumber didasarkan pada kesesuaian dengan tujuan kajian, keterlacakan identitas bibliografis, dan kecukupan informasi untuk dianalisis. Sumber yang dipertimbangkan mencakup penelitian empiris, artikel tinjauan, serta dokumen kerangka kompetensi resmi. Publikasi yang hanya membahas aspek teknis pengembangan AI tanpa keterkaitan dengan pendidikan tidak menjadi fokus kajian. Sumber metodologis digunakan untuk mendasari pendekatan penelitian, sedangkan sumber substantif digunakan untuk membangun pembahasan mengenai literasi AI guru MIPA. Kelayakan sumber ditentukan berdasarkan kejelasan identitas publikasi dan relevansinya terhadap klaim yang dibahas. Entri yang belum dapat diverifikasi tidak digunakan

ISSN: 2088-0294 | e-ISSN: 2621-9166
https://doi.org/10.37630/jpm.v16i5.5254

sebagai bukti. Pemilihan sumber juga mempertimbangkan keragaman perspektif dan kontribusinya terhadap pengembangan argumentasi konseptual (Baumeister & Leary, 1997; Snyder, 2019).

Data dari sumber terpilih dipetakan menggunakan tabel ekstraksi yang mencakup penulis dan tahun publikasi, judul, jurnal atau penerbit, DOI atau URL, jenis sumber, tujuan, metode, konteks atau subjek, temuan utama, dimensi literasi AI, keterbatasan, serta relevansi terhadap pertanyaan kajian. Halaman atau bagian yang mendukung temuan turut dicatat untuk memudahkan penelusuran kembali. Pemetaan ini digunakan untuk membandingkan informasi antarsumber dan membedakan temuan yang dilaporkan dalam publikasi asli dari interpretasi penulis. Pembedaan tersebut menjadi perhatian khusus ketika hasil penelitian pada murid atau pengujian model AI digunakan untuk merumuskan implikasi bagi kompetensi guru.

Analisis dilakukan melalui pemetaan deskriptif dan sintesis tematik. Pemetaan deskriptif digunakan untuk menggambarkan karakteristik sumber, sedangkan sintesis tematik dilakukan dengan membandingkan konsep, dimensi kompetensi, kebutuhan verifikasi keilmuan MIPA, serta pertimbangan pedagogis dan etis. Pendekatan ini memungkinkan pengidentifikasian pola dan keterkaitan antartemuan dari berbagai sumber sebagai dasar pengembangan sintesis konseptual (Snyder, 2019). Hasil analisis disusun ke dalam empat tema, yaitu (1) konsep dan dimensi literasi AI guru; (2) kekhasan evaluasi keilmuan MIPA; (3) integrasi pedagogis dan tanggung jawab profesional; serta (4) sintesis kerangka konseptual literasi AI guru MIPA. Perbandingan antarsumber memperhatikan kesamaan, perbedaan, dan keterbatasan bukti. Hasil penilaian diri tidak diperlakukan sebagai pengukuran kemampuan aktual, temuan korelasional tidak ditafsirkan sebagai hubungan sebab-akibat, dan hasil pengujian model AI pada tugas tertentu tidak digeneralisasi ke seluruh konteks penggunaannya.

Kajian ini memiliki keterbatasan pada dokumentasi penelusuran yang belum mencakup string pencarian secara lengkap, jumlah hasil dari setiap sumber penelusuran, dan alur pemilihan sumber secara menyeluruh. Keterbatasan tersebut mengurangi keterulangan proses pencarian dan memungkinkan adanya publikasi relevan yang belum terjangkau. Oleh karena itu, hasil kajian diposisikan sebagai sintesis konseptual berdasarkan literatur yang telah ditelaah, bukan sebagai pemetaan komprehensif seluruh bukti yang tersedia. Kerangka konseptual yang dihasilkan merupakan usulan yang masih memerlukan pengembangan dan validasi empiris.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Untuk memperoleh gambaran mengenai cakupan literasi AI guru, sejumlah kerangka konseptual dan penelitian empiris ditelaah dengan memperhatikan aspek kompetensi yang dikaji, konteks penelitian, serta kontribusinya terhadap pemahaman literasi AI. Literatur tersebut menunjukkan bahwa literasi AI tidak hanya berkaitan dengan kemampuan menggunakan teknologi, tetapi juga mencakup pemahaman terhadap sistem AI, evaluasi kritis atas keluarannya, pertimbangan etis, dan penerapan dalam konteks pembelajaran. Pemetaan sumber-sumber utama yang menjadi dasar sintesis konsep dan dimensi literasi AI guru disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Pemetaan Literatur tentang Konsep dan Dimensi Literasi AI Guru

Studi	Bidang	Jenis Sumber	Temuan Utama
(Ng et al., 2021)	MIPA/STEM	Exploratory Literature Review	Merumuskan 4 dimensi literasi AI: Know & Understand, Use & Apply, Evaluate & Create, dan Ethical Issues sebagai fondasi konseptual dasar.
(Tenberga & Daniela, 2024)	Lintas Mata Pelajaran	Empiris Kuantitatif	Membuktikan literasi AI sebagai kompetensi mandiri yang tidak otomatis terbentuk dari literasi digital umum, mencakup evaluasi kritis dan etika.
(Çayak, 2024)	Lintas Mata Pelajaran	Empiris Kuantitatif	Menunjukkan bahwa sikap positif terhadap AI berkorelasi kuat dengan tingkat literasi AI guru (Awareness, Usage, Evaluation, Ethics).
(Samngamjan et al., 2024)	Sains & Teknologi	Empiris Kuantitatif	Membuktikan keterkaitan positif antara pengetahuan, penciptaan, self-efficacy, dan kompetensi diri dalam literasi AI.
(Caspari-Sadeghi, 2026)	Pendidikan Tinggi (Pendidik Guru)	Konseptual (Design-Based Research)	Mengembangkan kurikulum kapasitas guru yang mengintegrasikan pemahaman dasar, penerapan, evaluasi kritis, etika, dan fleksibilitas pedagogis.

ISSN: 2088-0294 | e-ISSN: 2621-9166
https://doi.org/10.37630/jpm.v16i5.5254

Perbandingan antarkerangka dalam kajian ini menghasilkan lima ranah analitis, yaitu pengetahuan AI, penggunaan AI, evaluasi kritis, integrasi pedagogis, serta etika dan tanggung jawab. Pengetahuan AI mencakup pemahaman prinsip dasar, kemampuan, dan keterbatasan sistem. Penggunaan AI mencakup pemilihan alat, penyusunan instruksi, serta penyesuaian keluaran dengan kebutuhan. Evaluasi kritis menekankan pemeriksaan akurasi, konsistensi, relevansi, dan keandalan keluaran. Ketiga ranah tersebut memiliki landasan pada aspek pemahaman, penerapan, dan evaluasi dalam literasi AI. Akan tetapi, pengelompokannya bukan berupa adopsi utuh satu kerangka atau struktur kompetensi yang telah tervalidasi, melainkan merupakan sintesis analitis, (Ng et al., 2021; Tenberga & Daniela, 2024).

Integrasi pedagogis dibedakan dari penggunaan teknis karena berkenaan dengan alasan dan cara AI ditempatkan dalam pembelajaran. Kerangka UNESCO serta pembahasan pengembangan kapasitas pendidik guru menghubungkan penguasaan AI dengan tujuan, strategi, asesmen, dan kebutuhan belajar (Caspari-Sadeghi, 2026; UNESCO, 2024). Sementara itu, etika dan tanggung jawab mencakup privasi, keadilan, transparansi, dan akuntabilitas. Ranah ini beririsan dengan evaluasi kritis ketika guru memeriksa bias, tetapi memiliki fokus berbeda: evaluasi menelaah kualitas keluaran, sedangkan etika menelaah konsekuensi penggunaannya bagi murid. Karena itu, keluaran yang benar secara keilmuan tetap perlu dinilai kelayakan dari sisi pedagogis maupun etis.

Dalam konteks MIPA, kelima ranah tersebut memerlukan penjabaran melalui verifikasi konsep, prosedur, penalaran, representasi, data, dan bukti. Studi praktikum fisika menunjukkan peran pengetahuan awal dalam mengenali kesalahan AI, sedangkan pengujian pada tugas kimia memperlihatkan kerentanan model terhadap asumsi keliru (Kilde-Westberg et al., 2025; Uçar et al., 2025). Karena penelitian tersebut berfokus pada murid dan pengujian model, temuannya tidak langsung memvalidasi kompetensi guru. Namun, keduanya memberikan dasar untuk menempatkan penguasaan bidang studi sebagai penunjang evaluasi substantif. Oleh sebab itu, kekhasan MIPA diposisikan sebagai kontekstualisasi lintas ranah, bukan dimensi keenam yang sepenuhnya terpisah.

Kelima ranah tersebut juga tidak dimaksudkan meniadakan penciptaan, komunikasi, kolaborasi, dan pengembangan profesional yang terdapat dalam kerangka terdahulu. Dalam sintesis ini, penciptaan diakomodasi melalui perancangan atau adaptasi sumber belajar, sedangkan refleksi, kolaborasi, dan pengembangan profesional ditempatkan sebagai penunjang pembaruan kompetensi (UNESCO, 2024; Ng et al., 2021; Tenberga & Daniela, 2024). Susunan tersebut menjadi dasar pengembangan kerangka konseptual yang menghubungkan kompetensi AI umum, verifikasi keilmuan MIPA, dan keputusan pedagogis, dengan tetap memerlukan pengujian empiris.

Literatur yang mendasari pembahasan evaluasi keilmuan MIPA mencakup pengujian kemampuan model, penelitian penggunaan AI dalam pembelajaran, dan tinjauan literatur. Sumber-sumber tersebut memberikan informasi yang berbeda: pengujian model menunjukkan keterbatasan pada tugas tertentu, penelitian pembelajaran menggambarkan interaksi pengguna dengan AI, sedangkan tinjauan literatur memberikan gambaran penerapannya. **Tabel 2** merangkum sumber yang digunakan, temuan relevan, serta kebutuhan verifikasi yang disintesis dalam kajian ini. Kolom terakhir merupakan interpretasi penulis terhadap implikasi sumber, bukan seluruhnya kompetensi guru yang telah diuji secara langsung.

Tabel 2. Pemetaan Literatur tentang Konsep dan Dimensi Literasi AI Guru

Bidang	Sumber dan jenis bukti	Temuan yang relevan	Verifikasi dan kompetensi guru
Matematika	Frieder et al., (2023) pengujian kemampuan model pada tugas matematika	Kemampuan model berbeda menurut tugas dan tingkat kesulitan; keberhasilan pada sebagian persoalan tidak menjamin ketepatan penalaran matematika tingkat lanjut.	Memeriksa asumsi, syarat keberlakuan, keabsahan langkah, dan kesimpulan berdasarkan penguasaan konsep serta penalaran matematis.
Fisika	Kilde-Westberg et al., (2025); studi kasus praktikum pada murid	Ditemukan kesalahan konstanta atau satuan dan analogi; pengetahuan awal berperan	Memeriksa rujukan konstanta, konsistensi dimensi, ketepatan analogi, dan kesesuaian penjelasan dengan pengamatan.

ISSN: 2088-0294 | e-ISSN: 2621-9166
https://doi.org/10.37630/jpm.v16i5.5254

		dalam pengenalan kesalahan respons AI.	
Fisika	Wan & Chen (2024); studi evaluasi umpan balik berbantuan AI	Penyusunan umpan balik konseptual melibatkan pengarahan melalui instruksi dan contoh acuan serta evaluasi manusia.	Menilai ketepatan konsep dan kesesuaian umpan balik dengan penalaran murid melalui penguasaan materi dan pengetahuan pedagogis konten.
Kimia	Tassoti (2024); penelitian pada calon guru kimia	Refleksi dan perbaikan prompt berkaitan dengan peningkatan persepsi terhadap kualitas jawaban.	Membedakan kesesuaian respons dengan instruksi dari kebenaran ilmiah; memeriksa konsep, perhitungan, dan kondisi penerapan.
Kimia	Uçar et al. (2025); pengujian model menggunakan instruksi jebakan	Model yang diuji dapat menerima premis keliru dan menghasilkan penjelasan rekaan.	Menguji asumsi, konsistensi penalaran, serta keberadaan konsep dan rujukan melalui sumber ilmiah.
Biologi	Aripin et al., (2024); tinjauan literatur	Penggunaan AI mencakup tutor, asesmen, media pengajaran, pengayaan, kelas virtual, dan alat bantu belajar.	Menilai kesesuaian materi dan representasi dengan konsep biologi; keragaman penggunaan tidak otomatis membuktikan ketepatan keluarannya.
Biologi	Duran & Dikmenli (2025); tinjauan sistematis	Memetakan penggunaan AI dalam pendidikan biologi dan mengidentifikasi kesenjangan topik serta bentuk penerapan.	Menilai bukti sesuai jenis teknologi, materi, subjek, dan hasil yang diteliti sebelum menarik implikasi bagi kompetensi guru.
Kimia dan ilmu material	Maughan et al. (2025); pandangan ahli dan demonstrasi penerapan dalam laboratorium	Model bahasa digunakan untuk mendukung kegiatan praktikum, analisis data, dan penyusunan kode, dengan kebutuhan pemeriksaan hasil.	Memeriksa data masukan, proses pengolahan, keluaran komputasi, dan kesesuaian kesimpulan dengan catatan eksperimen.

Perbandingan sumber memperlihatkan kebutuhan bersama untuk mengevaluasi ketepatan konsep, keabsahan penalaran, kesesuaian representasi, serta hubungan antara klaim dan bukti. Keluaran yang tersusun dengan baik belum tentu dapat dipertanggungjawabkan secara keilmuan. Pemeriksaan keandalan dan keakuratan merupakan bagian dari kompetensi evaluasi kritis, tetapi penerapannya memerlukan standar bidang studi yang sesuai (Tenberga & Daniela, 2024) . Oleh karena itu, keterampilan menggunakan AI perlu dihubungkan dengan penguasaan materi dan kemampuan memilih cara verifikasi.

Dalam matematika, evaluasi perlu memperhatikan validitas langkah dan kesimpulan, bukan hanya jawaban akhir. Pengujian model menunjukkan bahwa keberhasilan pada sebagian tugas tidak menjamin kemampuan menyelesaikan persoalan matematika tingkat lanjut (Frieder et al., 2023). Implikasinya, guru perlu menelaah asumsi, syarat keberlakuan, dan kesetaraan setiap langkah. Sebagai ilustrasi hipotetis, kandidat solusi persamaan irasional perlu diperiksa kembali pada persamaan asal untuk mendeteksi akar ekstraneus. Uji nilai dapat membantu menemukan kesalahan, tetapi tidak menggantikan pembuktian umum atas suatu identitas atau argumen. Kebutuhan kompetensi ini merupakan implikasi konseptual dari evaluasi model, bukan temuan langsung mengenai kemampuan guru matematika.

Dalam fisika, verifikasi menghubungkan konsep, persamaan, satuan, dan pengamatan. Studi praktikum levitasi akustik memperlihatkan kesalahan konstanta atau satuan serta analogi yang menyesatkan dalam respons AI. Pengetahuan awal murid juga berperan dalam mengenali kesalahan tersebut (Kilde-Westberg et al., 2025). Sementara itu, penggunaan AI untuk umpan balik konseptual menunjukkan pentingnya pengarahan respons dan evaluasi manusia (Wan & Chen, 2024). Kedua konteks tersebut memberikan dasar bagi penekanan pada analisis dimensi, pemeriksaan penjelasan, dan interpretasi eksperimen. Namun, temuan pada murid maupun pada satu tugas tidak langsung membuktikan kemampuan guru atau mewakili seluruh pembelajaran fisika.

ISSN: 2088-0294 | e-ISSN: 2621-9166
https://doi.org/10.37630/jpm.v16i5.5254

Dalam kimia, pemeriksaan perlu mencakup kelayakan asumsi dan konsistensi penjelasan terhadap kondisi persoalan. Model yang diuji melalui instruksi jebakan dapat menerima premis keliru dan menghasilkan penjelasan rekaan (Uçar et al., 2025). Penelitian pada calon guru kimia juga menunjukkan bahwa refleksi dan perbaikan instruksi berkaitan dengan penilaian pengguna terhadap kualitas respons, tetapi tidak otomatis membuktikan peningkatan akurasi objektif (Tassoti, 2024). Dengan demikian, keterampilan menyusun *prompt* perlu disertai pemeriksaan konsep, perhitungan, dan dasar ilmiahnya. Kesesuaian format jawaban bukan pengganti ketepatan isi.

Dalam biologi, sumber yang ditelaah terutama menjelaskan keragaman penggunaan AI dan perkembangan penelitiannya, bukan menguji langsung kemampuan guru memverifikasi keluaran. Tinjauan penerapan AI mengidentifikasi penggunaan untuk media, tutor, dan asesmen, sedangkan tinjauan sistematis memberikan gambaran cakupan serta kesenjangan penelitian pendidikan biologi (Aripin et al., 2024; Duran & Dikmenli, 2025). Berdasarkan konteks tersebut, pemeriksaan konsep, hubungan struktur–fungsi, dan kesesuaian representasi diajukan sebagai kebutuhan evaluatif. Sebagai ilustrasi hipotetis, diagram yang tampak rapi tetap perlu diperiksa ketepatan label dan urutan prosesnya. Ilustrasi tersebut tidak diperlakukan sebagai temuan eksperimen dari sumber yang dikutip.

Pada seluruh bidang, evaluasi juga mencakup data masukan, pengolahan, dan hubungan antara hasil dengan kesimpulan. Pembahasan penggunaan model bahasa dalam laboratorium menunjukkan bahwa bantuan analisis data dan penyusunan kode tetap memerlukan penelaahan pengguna (Maughan et al., 2025). Dalam sintesis ini, verifikasi karena itu menggunakan pembanding berupa sumber ilmiah, perhitungan, atau bukti empiris, bukan hanya meminta jawaban ulang kepada AI. Perbedaan antarbidang terutama terletak pada objek dan standar pemeriksaan; penalaran, representasi, perhitungan, serta data tetap dapat menjadi perhatian bersama.

Kekuatan bukti dalam kajian ini belum seimbang antarbidang. Pembahasan matematika terutama bertumpu pada evaluasi kemampuan model, sedangkan biologi lebih banyak didukung tinjauan penggunaan teknologi. Keduanya belum memadai untuk menyimpulkan kemampuan aktual guru dalam memverifikasi keluaran AI. Oleh karena itu, kebutuhan verifikasi dan kompetensi pada Tabel 2 diposisikan sebagai usulan konseptual berdasarkan literatur yang ditelaah, bukan kompetensi yang telah teruji secara merata pada seluruh bidang MIPA. Ketimpangan ini merupakan keterbatasan utama kajian dan membatasi kekuatan perbandingan lintas bidang.

Pembahasan integrasi pedagogis dan tanggung jawab profesional didasarkan pada dokumen kerangka kompetensi, kajian konseptual, penelitian guru dan calon guru, serta studi penggunaan AI dalam pembelajaran. Jenis sumber tersebut memberikan dasar yang berbeda: kerangka kompetensi menjelaskan orientasi yang diusulkan, sedangkan penelitian empiris memberikan informasi mengenai penerimaan teknologi, praktik penggunaan, dan kebutuhan pendampingan. **Tabel 3** merangkum kontribusi sumber terhadap pembahasan. Implikasi yang disajikan merupakan sintesis penulis, bukan seluruhnya hasil pengujian efektivitas strategi atau pelatihan.

Tabel 3. Sumber dan sintesis integrasi pedagogis serta tanggung jawab profesional guru

Penulis	Bidang	Jenis sumber/metode	Temuan utama dan relevansi
Dehen et al., (2026)	Matematika, Sains, & Teknologi	Empiris Kuantitatif (Survei & Regresi)	Motivasi dan kesediaan mengadopsi AI menjadi prediktor utama literasi AI guru; guru Sains & Teknologi mencatatkan literasi tertinggi.
Akmal & Riyadi (2026)	Evaluasi Pembelajaran (Matematika & Sains)	Studi Literatur	Menekankan pendekatan Human-in-the-Loop; AI efisien untuk asesmen, tetapi keputusan final dan etika evaluasi tetap di tangan guru.
Aripin et al. (2024)	Biologi (Jenjang Menengah & Tinggi)	Systematic Literature Review	AI berpotensi menjelaskan konsep biologis abstrak, tetapi menuntut kompetensi guru dalam memilih media yang tepat sesuai kebutuhan pedagogis.
Hussain et al., (2026)	Lintas Bidang (Relevan MIPA)	Systematic Literature Review	Penggunaan AI pasif memicu cognitive offloading (ketergantungan kognitif); literasi AI harus mendorong interaksi reflektif dan pemecahan masalah mandiri.

ISSN: 2088-0294 | e-ISSN: 2621-9166
https://doi.org/10.37630/jpm.v16i5.5254

Gouseti et al. (2024)	Lintas Bidang (Relevan Matematika & Sains)	Systematic Literature Review	Pelatihan guru tidak boleh sebatas operasional teknisprompting, tetapi wajib mengutamakan pertimbangan pedagogis dan agensi kritis.
Williamson & Eynon (2020)	Pendidikan Umum (Relevan Asesmen MIPA)	Kajian Kritis & Sosioteknis	Penggunaan AI memicu risiko bias algoritmik dan privasi data; guru membutuhkan dimensi etika dan kesadaran kritis sosioteknis.
UNESCO, (2024)	Lintas Bidang (Termasuk MIPA)	Laporan Kebijakan & Kerangka Kerja	Pelatihan kompetensi guru harus mencakup literasi etis, audit bias, dan pertimbangan kelayakan pedagogis secara berkelanjutan.
Maslan & Ubaidah (2026)	Matematika (SMP)	Empiris (Guided Interaction)	AI efektif mendukung penalaran matematika jika difungsikan sebagai mitra diskusi melalui dialog Sokratik dengan scaffolding guru.
Baharuddin (2026)	Matematika	Kajian Konseptual & Kerangka Kerja	Integrasi AI menggeser fokus dari jawaban akhir ke validasi proses berpikir; guru harus merancang asesmen yang menilai penalaran.

Integrasi pedagogis AI dalam pembelajaran MIPA memerlukan keselarasan antara tujuan pembelajaran, karakteristik materi, kebutuhan murid, dan kemampuan teknologi. Kerangka UNESCO menempatkan pedagogi bersama etika dan orientasi yang berpusat pada manusia, sedangkan kajian pengembangan kapasitas pendidik guru menghubungkan pengetahuan AI dengan penerapan, evaluasi, dan refleksi (Caspari-Sadeghi, 2026; UNESCO, 2024). Kedua sumber tersebut memberikan dasar normatif dan konseptual, bukan bukti bahwa suatu bentuk integrasi telah efektif pada semua konteks. Implikasinya, guru perlu menilai bukan hanya apakah keluaran AI benar, tetapi juga apakah penggunaannya mendukung proses berpikir yang dituju atau sekadar mempercepat penyelesaian tugas.

Pada tingkat penerapan, penelitian umpan balik konseptual fisika serta pembahasan penggunaan model bahasa dalam laboratorium memperlihatkan peluang bantuan AI yang tetap memerlukan penelaahan manusia (Maughan et al., 2025; Wan & Chen, 2024). Dalam sintesis ini, prinsip *human-in-the-loop* diwujudkan melalui pemeriksaan keluaran, penyesuaian terhadap konteks, dan penetapan tindak lanjut oleh guru. Prinsip tersebut juga relevan dalam asesmen: skor atau komentar otomatis tidak langsung menggantikan pertimbangan terhadap penalaran murid dan kemungkinan bias (Akmal & Riyadi, 2026). Dengan demikian, keterlibatan guru bukan sekadar persetujuan akhir, melainkan penilaian substantif terhadap dasar keputusan.

Batas penggunaan AI juga perlu mempertimbangkan penguasaan materi murid. Studi praktikum fisika menunjukkan peran pengetahuan awal dalam mengenali kesalahan respons AI, tetapi tidak membuktikan bahwa penggunaan AI selalu memperkuat atau melemahkan kemampuan berpikir (Kilde-Westberg et al., 2025). Berdasarkan temuan tersebut, pendampingan dapat diarahkan pada kegiatan membandingkan penjelasan, mengidentifikasi kesalahan, dan mempertanggungjawabkan langkah penyelesaian. Pemberian jawaban lengkap perlu dibatasi apabila menggantikan penalaran yang sedang dipelajari. Strategi ini merupakan implikasi pedagogis yang diajukan dalam kajian, bukan intervensi yang efektivitasnya telah diuji oleh seluruh sumber.

Tanggung jawab profesional mencakup privasi, transparansi, integritas akademik, dan keadilan akses (Akmal & Riyadi, 2026; Maughan et al., 2025; UNESCO, 2024). Sebagai penerapannya, guru dan sekolah perlu membatasi pemasukan data pribadi, menelaah ketentuan pengelolaan data platform, serta menjelaskan bentuk bantuan AI yang diperbolehkan. Penghilangan identitas merupakan langkah pengurangan risiko, bukan jaminan bahwa seluruh persoalan privasi telah teratasi. Transparansi dapat didukung dengan meminta murid menjelaskan penggunaan AI dan bagian tugas yang dikerjakan secara mandiri. Alternatif pengerjaan juga perlu tersedia agar keterbatasan akses tidak menjadi hambatan penyelesaian tugas.

Pengembangan profesional perlu memadukan keterampilan penggunaan AI, evaluasi keilmuan, perancangan pembelajaran, dan pertimbangan etis. Penelitian calon guru kimia memberikan konteks bagi pelatihan berbasis refleksi instruksi, sedangkan survei guru menunjukkan bahwa penerimaan AI berkaitan dengan skor literasi AI (Dehen et al., 2026). Namun, persepsi kualitas jawaban dan penerimaan teknologi tidak dapat diperlakukan sebagai bukti kemampuan evaluasi aktual. Pelatihan dapat menggunakan tugas pemeriksaan materi, umpan balik, atau interpretasi data, disertai penjelasan alasan menerima, memperbaiki, atau menolak keluaran. Arah tersebut sejalan dengan penekanan pada evaluasi dan pembelajaran profesional, tetapi efektivitas bentuk pelatihannya tetap perlu diuji (Caspari-Sadeghi, 2026; UNESCO, 2024).

ISSN: 2088-0294 | e-ISSN: 2621-9166
https://doi.org/10.37630/jpm.v16i5.5254

Pada tingkat kelembagaan, sekolah dapat mendukung penggunaan AI melalui pedoman, pemilihan platform, dan kolaborasi antarguru, sedangkan pendidikan calon guru dapat mengintegrasikan evaluasi keluaran AI ke dalam perkuliahan bidang studi, pedagogi, dan asesmen. Rekomendasi ini merupakan hasil sintesis, bukan pernyataan bahwa dukungan tertentu telah terbukti efektif secara universal. Secara keseluruhan, integrasi pedagogis dan tanggung jawab profesional menempatkan keputusan guru sebagai penghubung antara kemampuan teknologi, ketepatan keilmuan, kebutuhan belajar, dan perlindungan kepentingan murid. Hubungan tersebut menjadi dasar penyusunan kerangka konseptual pada bagian berikutnya.

Sintesis kajian menghasilkan usulan kerangka konseptual yang menghubungkan fondasi literasi AI, verifikasi keilmuan MIPA, dan integrasi pedagogis, dengan keputusan penggunaan AI yang bertanggung jawab sebagai pusatnya. Fondasi konseptualnya bersumber dari aspek pemahaman, penerapan, evaluasi dan penciptaan, serta etika dalam literasi AI, yang diperkaya dengan orientasi pedagogis dan pengembangan profesional guru (Ng et al., 2021; UNESCO, 2024). Kerangka ini tidak menambahkan kekhasan MIPA sebagai dimensi teknologi yang terpisah, tetapi menggunakannya untuk memperjelas standar evaluasi dan pertimbangan penggunaan AI dalam pembelajaran.

Dalam konteks pendidikan Indonesia, kerangka ini relevan dengan arah kebijakan transformasi digital pendidikan dan penguatan kompetensi guru dalam menghadapi perkembangan kecerdasan artifisial. Permendikdasmen Nomor 13 Tahun 2025 mengatur penambahan mata pelajaran Koding dan Kecerdasan Artifisial (KA) dalam struktur kurikulum, sedangkan Kepmendikdasmen Nomor 127/P/2025 menetapkan pedoman implementasinya mulai tahun ajaran 2025/2026. Kebijakan tersebut memberikan ruang bagi pembelajaran Koding dan KA sebagai mata pelajaran pilihan, sekaligus memungkinkan integrasi kompetensi terkait ke dalam mata pelajaran lain (Kemdikdasmen RI, 2025). Oleh karena itu, literasi AI guru MIPA tidak hanya berkaitan dengan pemanfaatan teknologi dalam pembelajaran, tetapi juga dengan kesiapan guru untuk mendukung pengembangan pemahaman AI, penalaran kritis, dan penggunaan teknologi secara etis sesuai dengan tujuan kurikulum.

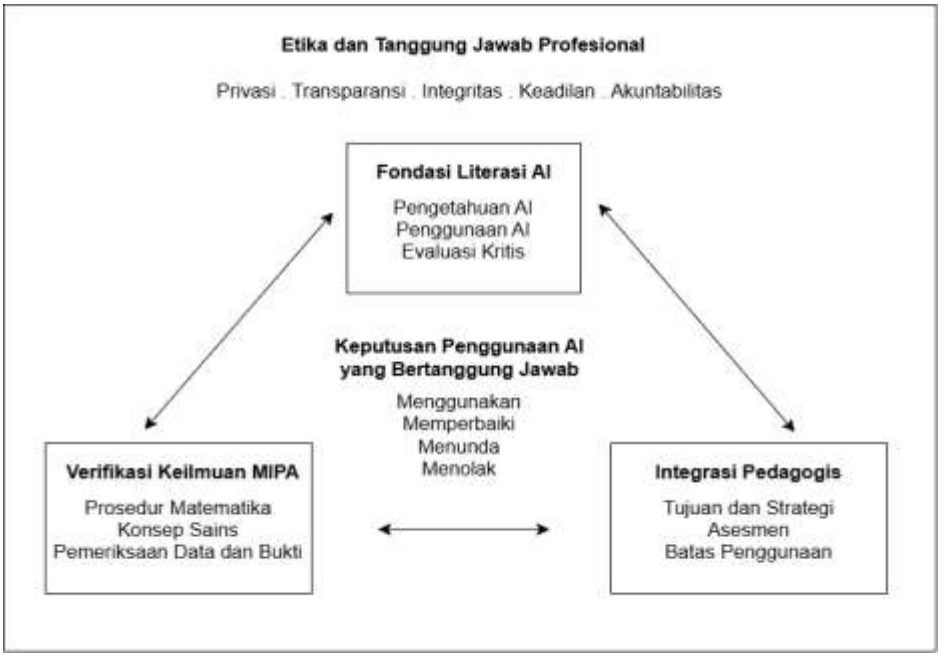
Fondasi literasi AI mencakup pengetahuan tentang kemampuan dan keterbatasan sistem, keterampilan penggunaan, serta evaluasi kritis (Ng et al., 2021; Tenberga & Daniela, 2024). Verifikasi keilmuan MIPA mengontekstualisasikan kemampuan tersebut melalui pemeriksaan keabsahan matematis, ketepatan konsep dan representasi sains, serta kesesuaian data, bukti, dan kesimpulan. Penelitian praktikum fisika dan pengujian model dalam pendidikan kimia memberikan dasar bagi kebutuhan pemeriksaan substantif terhadap keluaran AI, meskipun tidak secara langsung memvalidasi kompetensi guru pada seluruh bidang MIPA (Kilde-Westberg et al., 2025; Uçar et al., 2025). Hubungan kedua komponen tersebut menegaskan bahwa pemahaman umum tentang risiko AI perlu disertai kemampuan mengenali dan menjelaskan kesalahan berdasarkan bidang studi.

Integrasi pedagogis menghubungkan pengetahuan dan hasil verifikasi dengan tujuan, strategi, asesmen, serta batas penggunaan AI. Kedudukannya bukan sebagai tahap setelah pemeriksaan keilmuan, sebab tujuan pembelajaran sejak awal menentukan alat, instruksi, dan keluaran yang diperlukan. Sebaliknya, hasil evaluasi awal keluaran AI mengharuskan guru menyesuaikan kegiatan atau membatalkan penggunaan AI. Penempatan ini sejalan dengan dimensi pedagogi dalam kerangka kompetensi guru dan pembahasan penerapan AI untuk umpan balik serta kegiatan laboratorium (Maughan et al., 2025; UNESCO, 2024; Wan & Chen, 2024). Dengan demikian, keluaran yang benar secara keilmuan tetap perlu dinilai apakah mendukung pemahaman murid atau justru menggantikan proses berpikir yang menjadi tujuan pembelajaran.

Dalam konteks Kurikulum Merdeka dan implementasi Koding dan KA, integrasi pedagogis dapat diwujudkan melalui pemilihan aktivitas yang sesuai dengan capaian pembelajaran, karakteristik murid, dan ketersediaan sumber daya satuan pendidikan. Sebagai contoh, guru matematika dapat menggunakan AI untuk menghasilkan beberapa strategi penyelesaian masalah, kemudian mengajak murid memeriksa keabsahan setiap strategi. Guru fisika dapat memanfaatkan AI untuk menyusun penjelasan awal suatu fenomena, yang selanjutnya dibandingkan dengan hasil pengamatan atau prinsip fisika. Pada pembelajaran kimia dan biologi, keluaran AI dapat digunakan sebagai bahan analisis terhadap representasi konsep, data, atau penjelasan ilmiah. Contoh tersebut menunjukkan bahwa integrasi AI tidak harus diwujudkan melalui penggunaan aplikasi tertentu, tetapi melalui keputusan pedagogis yang mempertahankan keterlibatan murid dalam proses penalaran dan verifikasi.

ISSN: 2088-0294 | e-ISSN: 2621-9166
https://doi.org/10.37630/jpm.v16i5.5254

Gambar 1 menyajikan ketiga komponen dalam susunan segitiga dengan keputusan penggunaan AI yang bertanggung jawab sebagai pusatnya. Susunan tersebut menunjukkan bahwa keputusan guru dibentuk oleh pertimbangan teknologi, keilmuan, dan pedagogi secara bersama, bukan melalui urutan tahap yang baku. Hubungan antarkomponen memungkinkan penyesuaian timbal balik: tujuan pembelajaran mengarahkan penggunaan AI, sedangkan hasil verifikasi dapat mengubah pilihan alat maupun strategi pembelajaran. Keputusan di tengah mencakup menggunakan, memperbaiki, menunda, atau menolak keluaran berdasarkan alasan yang dapat dipertanggungjawabkan.



Gambar 1. Kerangka Konseptual Awal Literasi AI Guru MIPA

Sumber: sintesis penulis berdasarkan Ng et al. (2021); Tenberga & Daniela (2024); UNESCO (2024), serta penelitian penerapan AI dalam pembelajaran MIPA yang dikaji. Hubungan dalam diagram bersifat konseptual, bukan hubungan kausal yang telah diuji.

Etika dan tanggung jawab profesional melintasi seluruh komponen serta keputusan di dalam kerangka. Privasi, transparansi, integritas, keadilan, dan akuntabilitas bukan pemeriksaan tambahan setelah keluaran dinyatakan benar, melainkan pertimbangan sejak pemilihan alat hingga penggunaan hasilnya (Akmal & Riyadi, 2026; UNESCO, 2024). Prinsip tersebut juga sejalan dengan arah kebijakan Koding dan KA yang menekankan penggunaan kecerdasan artifisial secara etis, perlindungan data pribadi, serta pemahaman terhadap keterbatasan dan potensi dampak teknologi. Sementara itu, refleksi, kolaborasi, dan pengembangan profesional mendukung pembaruan kompetensi guru, sesuai dengan perhatian terhadap pembelajaran profesional serta komunikasi dan kolaborasi dalam kerangka terdahulu (Tenberga & Daniela, 2024; UNESCO, 2024). Penempatan tersebut membedakan kompetensi yang digunakan dalam pengambilan keputusan dari kegiatan profesional yang membantu mengembangkannya.

Kontribusi kerangka ini terletak pada penghubungan literasi AI umum dengan tuntutan verifikasi keilmuan dan keputusan pedagogis dalam pembelajaran MIPA. Dalam konteks Indonesia, kerangka ini dapat menjadi landasan konseptual untuk memahami kompetensi guru dalam memanfaatkan AI secara kritis dan bertanggung jawab, baik pada pembelajaran MIPA maupun dalam mendukung implementasi Koding dan KA. Penelitian selanjutnya perlu menguji kelengkapan komponen, kejelasan batas antarkompetensi, dan kemampuan aktual guru melalui tugas pemeriksaan keluaran AI beserta alasan pengambilan keputusannya. Penilaian kinerja tersebut penting untuk melengkapi bukti berbasis penilaian diri yang digunakan dalam sejumlah penelitian (Dehen et al., 2026; Tenberga & Daniela, 2024). Oleh karena itu, kerangka ini belum dapat dinyatakan meningkatkan kualitas pembelajaran sebelum dampaknya benar-benar diuji.

Validasi lanjutan perlu dilakukan secara bertahap. Tahap pertama adalah validasi isi melalui metode Delphi dengan melibatkan panel ahli yang mencakup literasi AI, pendidikan matematika, pendidikan fisika, pendidikan kimia, pendidikan biologi, teknologi pendidikan, kurikulum, dan asesmen. Panel juga perlu

ISSN: 2088-0294 | e-ISSN: 2621-9166
https://doi.org/10.37630/jpm.v16i5.5254

melibatkan praktisi guru MIPA yang memahami kondisi implementasi pembelajaran di satuan pendidikan Indonesia (Khodyakov et al., 2023). Proses Delphi dapat dilakukan dalam dua hingga tiga putaran (Khodyakov et al., 2023): putaran pertama untuk menilai relevansi, kejelasan, dan kelengkapan setiap komponen; putaran kedua untuk meninjau revisi berdasarkan tanggapan panel; dan putaran ketiga apabila konsensus belum tercapai. Penilaian dapat menggunakan skala empat tingkat dan dilengkapi komentar terbuka (Khodyakov et al., 2023), dengan indeks validitas isi *(Content Validity Index/CVI)* sebagai salah satu dasar penentuan kelayakan komponen. Kriteria konsensus perlu ditetapkan sebelum pengumpulan data, misalnya nilai I-CVI minimal 0,78 untuk setiap indikator dan S-CVI/Ave minimal 0,90 untuk keseluruhan kerangka, dengan mempertimbangkan jumlah panel ahli (Gupta et al., 2025).

Tahap kedua adalah uji keterbacaan dan uji coba terbatas kepada guru MIPA pada jenjang SMP dan SMA/SMK dengan karakteristik satuan pendidikan yang beragam. Tahap ini bertujuan menilai apakah batas antarkomponen dapat dipahami, apakah indikator mencerminkan praktik guru di Indonesia, serta apakah kerangka dapat diterapkan dalam situasi pembelajaran yang nyata. Tahap ketiga adalah validasi empiris melalui tugas kinerja, misalnya meminta guru mengevaluasi keluaran AI pada persoalan matematika, fenomena fisika, representasi kimia, atau penjelasan biologi. Penilaian dilakukan berdasarkan ketepatan identifikasi kesalahan, kualitas alasan keilmuan, pertimbangan pedagogis, dan keputusan penggunaan AI. Penilaian kinerja tersebut penting untuk melengkapi bukti berbasis penilaian diri yang digunakan dalam sejumlah penelitian (Dehen et al., 2026; Tenberga & Daniela, 2024)

Dengan demikian, validasi kerangka tidak hanya diarahkan pada kesepakatan ahli mengenai komponen literasi AI, tetapi juga pada kesesuaian kerangka dengan konteks kurikulum dan praktik pembelajaran guru MIPA di Indonesia. Setelah validasi isi dan uji coba dilakukan, penelitian selanjutnya dapat menguji struktur kompetensi serta hubungan antarkomponen secara empiris. Kerangka ini belum dapat dinyatakan meningkatkan kualitas pembelajaran sebelum dampaknya benar-benar diuji.

SIMPULAN

Kajian literatur naratif ini merumuskan lima ranah literasi AI guru yang saling berkaitan, yaitu pengetahuan AI, penggunaan AI, evaluasi kritis, integrasi pedagogis, serta etika dan tanggung jawab, yang melampaui keterampilan mengoperasikan aplikasi atau menyusun *prompt*. Dalam pembelajaran MIPA, kelima ranah tersebut dikontekstualisasikan melalui penguasaan bidang studi untuk memverifikasi keabsahan prosedur dan penalaran matematis, ketepatan konsep serta representasi sains, dan kesesuaian data, bukti, serta kesimpulan. Verifikasi tersebut perlu disertai pertimbangan pedagogis dan etis untuk menghadapi kesalahan faktual, halusinasi, ketidakkonsistenan penalaran, bias, persoalan privasi, serta risiko ketergantungan pengguna. Kontribusi kajian berupa **kerangka** konseptual awal yang menghubungkan fondasi literasi AI, verifikasi keilmuan MIPA, dan integrasi pedagogis, dengan keputusan penggunaan AI yang bertanggung jawab sebagai pusat serta etika sebagai prinsip lintas komponen. Dalam konteks Indonesia, kerangka ini dapat menjadi landasan pengembangan profesional guru MIPA dan bahan pertimbangan dalam mendukung implementasi Koding dan Kecerdasan Artifisial, tanpa mengasumsikan kesesuaian yang telah teruji. Namun, keterbatasan dokumentasi penelusuran, keragaman jenis bukti, ketimpangan dukungan antarbidang, dan penggunaan penilaian diri membatasi cakupan serta generalisasi sintesis. Pengembangan selanjutnya diarahkan pada validasi isi melalui Delphi, uji keterbacaan dan penerapan terbatas, serta validasi empiris berbasis tugas kinerja untuk menilai kemampuan guru mengidentifikasi kesalahan, memberikan alasan keilmuan, dan mengambil keputusan pedagogis. Kerangka ini belum tervalidasi dan belum dapat dinyatakan meningkatkan kualitas pembelajaran sebelum kesesuaian, hubungan antarkomponen, serta dampaknya diuji secara empiris.

Daftar Pustaka

Akmal, M., & Riyadi, R. (2026). Implementasi Artificial Intelligence (AI) dalam Sistem Evaluasi Pembelajaran: Peluang dan Tantangan di Era Digital. *Jurnal Ilmiah Pendidikan Dasar*, *11*(3), 415–422. https://doi.org/10.23969/jp.v11i03.57590

Aripin, I., Arif Gaffar, A., Barin, M., Jabar, A., & Yulianti, D. (2024). Artificial intelligence in biology and learning biology: A literature review. *Jurnal Mangifera Edu*, *8*(2). https://doi.org/10.31943/mangiferaedu.v8i2.185

ISSN: 2088-0294 | e-ISSN: 2621-9166
https://doi.org/10.37630/jpm.v16i5.5254

Baharuddin. (2026). International Journal of Technology and Education Research Transforming Mathematics Education In The Era Of Generative AI: From Problem Solving To AI-Supported Mathematical Reasoning. *International Journal of Technology and Education Research*, *04*(04), 110–125. https://doi.org/10.63922/ijeter.v4i04.6922

Baumeister, R. F., & Leary, M. R. (1997). Writing Narrative Literature Reviews. *Review of General Psychology*, *1*(3), 311–320. https://doi.org/10.1037/1089-2680.1.3.311

Caspari-Sadeghi, S. (2026). AI literacy for teacher educators: a holistic curriculum for capacity-building in higher education. *Frontiers in Education*, *11*. https://doi.org/10.3389/feduc.2026.1745768

Çayak, S. (2024). Investigating the relationship between teachers' attitudes toward artificial intelligence and their artificial intelligence literacy. *Journal of Educational Technology and Online Learning*, *7*(4-ICETOL 2024 Special Issue), 367–383. https://doi.org/10.31681/jetol.1490307

Dehen, M., Harari, R., & Aharony, N. (2026). Teachers' artificial intelligence (AI) literacy: an exploratory study. *Smart Learning Environments*, *13*(1). https://doi.org/10.1186/s40561-026-00433-5

Duran, T., & Dikmenli, M. (2025). Use of Artificial Intelligence in Biology Education: A Systematic Review of Literature. *Journal of Education in Science, Environment and Health*, *11*(4), 314–333. https://doi.org/10.55549/jeseh.864

Frieder, S., Pinchetti, L., Chevalier, A., Griffiths, R.-R., Salvatori, T., Lukasiewicz, T., Petersen, P. C., & Berner, J. (2023). Mathematical Capabilities of ChatGPT. *Advances in Neural Information Processing Systems*, *NeurIPS 36*. http://arxiv.org/abs/2301.13867

Gouseti, A., James, F., Fallin, L., & Burden, K. (2024). *Technology, Pedagogy and Education The ethics of using AI in K-12 education: a systematic literature review*. https://doi.org/10.1080/1475939X.2024.2428601

Gupta, S., Grover, S., Menon, V., Indu, P. V., Vidhukumar, K., & Chacko, D. (2025). Item generation and establishing face and content validity of a rating scale: A primer. *Indian Journal of Psychiatry*, *67*(8), 816–822. https://doi.org/10.4103/indianjpsychiatry_750_25

Hussain, K., Scholar, M. P., Ur, A., Mahmood, R., & Math, P. (2026). Cognitive Offloading and AI Literacy in Higher Education: A Dual-Process Model of Generative AI Dependency and Student Meta cognitive Agency. *Advance Social Science Archive Journal*, *05*(01). https://doi.org/10.5281/zenodo.22873728

Kemdikdasmen RI. (2025). *Kemdikdasmen RI tentang Koding dan KA*. https://kurikulum.kemendikdasmen.go.id/file/1758017435_manage_file.pdf

Khodyakov, D., Grant, S., Kroger, J., & Bauman, M. (2023). *RAND Methodological Guidance for Conducting and Critically Appraising Delphi Panels Manual*. www.rand.org/about/research-integrity.

Kilde-Westberg, S., Johansson, A., & Enger, J. (2025). Generative AI as a lab partner: A case study. *Physical Review Physics Education Research*, *21*(2). https://doi.org/10.1103/ggy1-3kjk

Maslan, M., & Ubaidah, N. (2026). Artificial Intelligence in Education and Its Conditional Impact on Critical Thinking: A Systematic Literature Review. *Didactical Mathematics*, *8*(1), 187–203. https://doi.org/10.31949/dm.v8i1.18001

Maughan, A. E., Toberer, E. S., & Zevalkink, A. (2025). Integrating Large Language Models into the Chemistry and Materials Science Laboratory Curricula. *Chemistry of Materials*, *37*(7), 2389–2394. https://doi.org/10.1021/acs.chemmater.5c00111

Ng, D. T. K., Leung, J. K. L., Chu, S. K. W., & Qiao, M. S. (2021). Conceptualizing AI literacy: An exploratory review. *Computers and Education: Artificial Intelligence*, *2*. https://doi.org/10.1016/j.caeai.2021.100041

Samngamjan, N., Phettom, P., Sa-ngunsat, K., & Philuek, W. (2024). A Survey Study on AI Literacy of Nakhon Sawan Rajabhat University's Digital Technology Teacher Students in Thailand. *Shanlax International Journal of Education*, *13*(1), 33–40. https://doi.org/10.34293/education.v13i1.8355

Snyder, H. (2019). Literature review as a research methodology: An overview and guidelines. *Journal of Business*

ISSN: 2088-0294 | e-ISSN: 2621-9166
https://doi.org/10.37630/jpm.v16i5.5254

Research, *104*, 333–339. https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2019.07.039

Tassoti, S. (2024). Assessment of Students Use of Generative Artificial Intelligence: Prompting Strategies and Prompt Engineering in Chemistry Education. *Journal of Chemical Education*, *101*(6), 2475–2482. https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.4c00212

Tenberga, I., & Daniela, L. (2024). Artificial Intelligence Literacy Competencies for Teachers Through Self-Assessment Tools. *Sustainability (Switzerland)*, *16*(23). https://doi.org/10.3390/su162310386

Uçar, S. Ş., Lopez-Gazpio, I., & Lopez-Gazpio, J. (2025). Evaluating and challenging the reasoning capabilities of generative artificial intelligence for technology-assisted chemistry education. *Education and Information Technologies*, *30*(8), 11463–11482. https://doi.org/10.1007/s10639-024-13295-6

UNESCO. (2024). *AI competency framework for teachers*. https://doi.org/10.54675/zjte2084

Wan, T., & Chen, Z. (2024). Exploring generative AI assisted feedback writing for students' written responses to a physics conceptual question with prompt engineering and few-shot learning. *Physical Review Physics Education Research*, *20*(1). https://doi.org/10.1103/PhysRevPhysEducRes.20.010152

Williamson, B., & Eynon, R. (2020). Historical threads, missing links, and future directions in AI in education. In *Learning, Media and Technology* (Vol. 45, Number 3, pp. 223–235). Routledge. https://doi.org/10.1080/17439884.2020.1798995