

Mengintegrasikan *Artificial Intelligent* dalam Pendidikan IPA: Tinjauan *Systematic Literature Review* melalui Perspektif Kerangka Kerja TPACK

Novi Ratna dewi^{1*}

¹Program Studi Pendidikan IPA, Universitas Negeri Semarang, Semarang

*Email korespondensi: noviratnadewi@mail.unnes.ac.id

ABSTRAK

Adopsi *Artificial Intelligent* (AI) dalam pendidikan semakin meluas, namun masih minim kajian yang memetakan peranannya dalam konteks pedagogi dan konten IPA secara terstruktur. Penelitian ini bertujuan menelaah bagaimana AI diintegrasikan dalam pembelajaran IPA dan dipetakan menggunakan kerangka TPACK. Menggunakan pendekatan *Systematic Literature Review*, data dikumpulkan dari literatur relevan dengan kriteria inklusi dan eksklusi ketat. Hasil kajian menunjukkan bahwa integrasi AI masih bersifat teknosentris dan belum terhubung secara utuh dengan domain TPACK. Temuan ini menegaskan perlunya pendekatan konseptual yang menggabungkan pengetahuan teknologi, pedagogik, dan konten agar AI dapat digunakan secara bermakna dalam pendidikan sains. Penelitian ini memberikan peta konseptual serta arahan praktis untuk integrasi AI yang lebih sistematis dalam pembelajaran IPA.

Kata kunci: *Artificial Intelligent*; Pendidikan IPA; *TPACK Framework*

PENDAHULUAN

Transformasi digital dalam dunia pendidikan saat ini ditandai oleh semakin masifnya adopsi teknologi berbasis kecerdasan buatan (Artificial Intelligence/AI) yang menysasar berbagai aspek pengajaran dan pembelajaran. AI menawarkan peluang besar untuk mendukung personalisasi pembelajaran, evaluasi otomatis, dan penguatan proses berpikir kritis pesertadidik (Goldman *et al.*, 2024). Dalam konteks Pendidikan IPA, AI memiliki potensi untuk memperkaya pemahaman konsep-konsep ilmiah melalui simulasi dan visualisasi data ilmiah yang kompleks (Zakaria & Hashim, 2024). Namun demikian, integrasi AI dalam Pendidikan IPA masih didominasi oleh pendekatan teknologi semata, tanpa diimbangi dengan pemetaan yang sistematis terhadap aspek pedagogik dan konten yang diajarkan (Ning *et al.*, 2024). Fenomena ini menunjukkan adanya kebutuhan mendesak untuk melakukan kajian ilmiah yang memetakan secara komprehensif peranan AI dalam pembelajaran IPA secara holistik.

Dalam beberapa kajian literatur sebelumnya, pendekatan integrasi teknologi dalam pendidikan banyak bertumpu pada kerangka TPACK (Technological Pedagogical Content Knowledge) yang telah terbukti memberikan arah dalam memadukan aspek teknologi, pedagogi, dan konten secara berimbang (Tillman *et al.*, 2024). Meski demikian, sebagian besar teori integrasi teknologi dalam TPACK belum secara eksplisit menjawab kompleksitas penggunaan AI dalam pembelajaran IPA, terutama dari sudut etika, pedagogi kritis, dan dinamika konten keilmuan yang berkembang sangat cepat (Celik, 2023). Kurangnya kajian sistematis yang secara spesifik mengaitkan AI dengan pembelajaran IPA melalui lensa TPACK menimbulkan kesenjangan teoritik dan praktis dalam pengembangan kompetensi guru dan desain pembelajaran berbasis AI. Fakta ini menjadi dasar penting bahwa studi literatur yang terfokus pada relasi AI, IPA, dan TPACK masih sangat minim dan perlu mendapatkan perhatian akademik lebih lanjut.

Penelitian ini bertujuan untuk menelaah secara sistematis bagaimana kecerdasan buatan diintegrasikan dalam pembelajaran IPA serta bagaimana integrasi tersebut dipetakan menggunakan kerangka TPACK. Kajian ini tidak hanya akan mengidentifikasi bentuk, metode, dan tujuan integrasi AI dalam konteks pembelajaran IPA, tetapi juga menganalisis keterpaduan ketiga elemen utama dalam TPACK: pengetahuan teknologi, pengetahuan pedagogik, dan pengetahuan konten sains (Feldman-Maggor *et al.*, 2025). Studi ini juga bertujuan merumuskan peta konseptual integrasi AI berbasis TPACK untuk menjadi acuan dalam desain kurikulum, pengembangan profesional guru, dan strategi pembelajaran sains abad ke-21 (Mnguni *et al.*, 2024). Dengan demikian, penelitian ini diharapkan memberikan kontribusi ilmiah yang bermakna terhadap diskursus pengembangan pendidikan IPA berbasis teknologi canggih secara terarah dan terukur.

Mengingat minimnya pemetaan teoritik yang menjelaskan secara utuh hubungan antara AI dan pembelajaran IPA dalam bingkai TPACK, serta adanya kebutuhan mendesak dari praktisi pendidikan akan panduan konseptual dan implementatif, maka penelitian ini menjadi relevan untuk dilakukan. Berdasarkan fakta meningkatnya adopsi AI yang tidak diimbangi dengan pemahaman pedagogis dan konten yang mendalam, serta tujuan eksplisit untuk menelaah integrasi tersebut secara sistematis, penelitian ini menawarkan landasan penting dalam membangun ekosistem pembelajaran IPA yang berbasis teknologi cerdas. Oleh karena itu, penelitian ini diposisikan untuk menjawab kesenjangan teoritik dan aplikatif yang ada, serta memperkuat fondasi keilmuan dalam pengembangan pendidikan sains berbasis AI di era digital ini.

Literatur Review

Artificial Intelligence (AI) dalam konteks pendidikan didefinisikan sebagai kemampuan sistem komputer untuk meniru perilaku kognitif manusia, seperti berpikir, belajar, dan

membuat keputusan, dalam menunjang proses pengajaran dan pembelajaran (Lievertz, 2019). Definisi ini menekankan bahwa AI bukan sekadar alat bantu digital, tetapi sebagai entitas yang mampu menyesuaikan diri secara adaptif dengan kebutuhan pembelajaran peserta didik melalui teknologi pembelajaran cerdas (Sadiku *et al.*, 2021). Dalam konteks yang lebih luas, AI dalam pendidikan juga mencakup teknologi yang memungkinkan terjadinya personalisasi belajar, analitik pembelajaran berbasis data, serta pemberian umpan balik otomatis dan dinamis terhadap siswa (Hamal *et al.*, 2022). Dengan demikian, AI menjadi teknologi sentral yang mampu mendefinisikan interaksi antara guru, siswa, dan konten pembelajaran.

AI dalam pendidikan muncul dalam berbagai bentuk teknologi yang telah diterapkan, seperti sistem tutor cerdas (intelligent tutoring systems), analitik pembelajaran (learning analytics), chatbot edukatif, serta asisten virtual pembelajaran berbasis suara maupun teks (Micheni *et al.*, 2024). Sistem-sistem ini umumnya memanfaatkan teknik pembelajaran mesin (machine learning) dan pemrosesan bahasa alami (natural language processing) untuk menyesuaikan instruksi pembelajaran dengan kebutuhan individu siswa (Albahijan *et al.*, 2025). AI juga digunakan dalam konteks evaluasi dan asesmen pembelajaran dengan menyediakan diagnosis otomatis terhadap kesalahan siswa, mendeteksi miskonsepsi, serta memberikan umpan balik remedial secara real-time (Bajpai, 2024). Variasi penerapan AI ini menunjukkan bahwa teknologi tersebut tidak hanya berfungsi sebagai pelengkap, tetapi juga sebagai elemen penggerak utama dalam inovasi pembelajaran.

Pendidikan IPA merujuk pada praktik pengajaran dan pembelajaran yang bertujuan untuk mengembangkan pemahaman siswa terhadap konsep-konsep ilmiah, metode ilmiah, dan relevansi sains dalam kehidupan sehari-hari serta pengambilan keputusan berbasis bukti (Zakaria & Hashim, 2024). Pendidikan IPA tidak hanya berfokus pada transfer pengetahuan faktual, tetapi juga menekankan keterampilan proses sains seperti observasi, prediksi, eksperimen, dan interpretasi data (Feldman-Maggor *et al.*, 2025; Mnguni *et al.*, 2024). Dalam konteks pendidikan abad ke-21, Pendidikan IPA juga mencakup dimensi sikap ilmiah seperti rasa ingin tahu, skeptisisme ilmiah, serta kesadaran terhadap implikasi etis dan sosial dari temuan ilmiah (Mnguni *et al.*, 2024). Hal ini menjadikan Pendidikan IPA sebagai arena strategis dalam pembentukan generasi yang melek sains dan mampu beradaptasi dalam dunia yang kompleks.

Pendidikan IPA dapat diklasifikasikan ke dalam beberapa pendekatan, seperti pembelajaran berbasis inkuiri (inquiry-based learning), pembelajaran berbasis masalah (problem-based learning), pembelajaran berbasis proyek (project-based learning), serta pendekatan STEM (Science, Technology, Engineering, and Mathematics) yang terintegrasi (L. Mercado *et al.*, 2019). Setiap pendekatan ini dirancang untuk mengembangkan keterampilan berpikir kritis, pemecahan masalah, dan kemampuan berkomunikasi ilmiah pada peserta didik. Selain itu, Pendidikan IPA juga mencakup penggunaan teknologi digital untuk simulasi eksperimen, visualisasi data, dan kolaborasi dalam penyelidikan ilmiah (L. Mercado *et al.*, 2019). Kategori lainnya termasuk pendekatan interdisipliner yang mengaitkan konsep IPA dengan isu-isu global seperti perubahan iklim, energi terbarukan, dan kesehatan masyarakat.

Kerangka TPACK (Technological Pedagogical Content Knowledge) merupakan model konseptual yang menjelaskan pengetahuan kompleks yang dibutuhkan oleh guru untuk secara efektif mengintegrasikan teknologi dalam proses pembelajaran. TPACK terdiri dari tiga domain utama yaitu pengetahuan konten (Content Knowledge/CK), pengetahuan pedagogik (Pedagogical Knowledge/PK), dan pengetahuan teknologi (Technological Knowledge/TK), serta interseksinya yang membentuk pengetahuan integratif seperti TPK, TCK, dan PCK (Tillman *et al.*, 2024). Model ini dikembangkan untuk membantu guru merancang pembelajaran yang tidak hanya berbasis konten dan pedagogi, tetapi juga selaras dengan perkembangan teknologi digital terkini. TPACK memberikan panduan sistematis bagi guru

dalam mengambil keputusan pembelajaran yang efektif di era digital (Zakaria & Hashim, 2024). Hal ini menjadikan TPACK sebagai kerangka teoritis penting dalam transformasi pendidikan modern.

Kerangka TPACK dapat dilihat dalam berbagai bentuk pengembangan kompetensi guru, mulai dari pelatihan profesional, pengembangan kurikulum berbasis teknologi, hingga asesmen terhadap kesiapan guru dalam mengintegrasikan teknologi dalam pengajaran (Celik, 2023). Salah satu bentuk terapan TPACK yang terkini adalah pengembangan skema Intelligent-TPACK yang menambahkan dimensi etika dan kecerdasan buatan sebagai bagian dari kerangka tersebut (Ning *et al.*, 2024). Selain itu, aplikasi TPACK juga dapat ditemukan dalam desain model pembelajaran hybrid, penggunaan platform digital interaktif, serta integrasi alat AI seperti chatbot dan asisten virtual dalam proses pembelajaran. Keberagaman aplikasi TPACK ini menunjukkan fleksibilitas kerangka tersebut dalam merespons tantangan pendidikan abad ke-21.

METODE PENELITIAN

Objek Penelitian

Fenomena adopsi kecerdasan buatan (Artificial Intelligence/AI) dalam pendidikan mengalami perkembangan signifikan dalam dekade terakhir, yang ditandai oleh meningkatnya pemanfaatan teknologi pintar dalam berbagai aspek proses belajar-mengajar (Kazimova *et al.*, 2025). Meski begitu, sebagian besar penelitian lebih terfokus pada aspek teknis AI semata dan belum menyentuh secara mendalam integrasinya dalam konteks pedagogi dan konten, khususnya dalam Pendidikan IPA. Kesenjangan inilah yang menjadi objek utama dari penelitian ini, yakni untuk mengisi kekosongan literatur dengan cara menelaah secara sistematis bagaimana peran AI dalam mendukung praktik pengajaran dan pembelajaran IPA berbasis kerangka TPACK. Kurangnya pemetaan sistematis terhadap peran AI dalam integrasi konten dan pedagogi dalam Pendidikan IPA menjadi urgensi dilakukannya studi ini secara lebih mendalam dan komprehensif (Othman & Maat, 2020).

Tipe dan Sumber Data Penelitian

Jenis penelitian ini adalah penelitian kepustakaan yang menggunakan pendekatan *Systematic Literature Review* (SLR), dengan fokus pada identifikasi, penilaian, dan sintesis temuan dari studi-studi relevan mengenai adopsi AI dalam pendidikan berbasis kerangka TPACK. Data primer dalam penelitian ini diperoleh dari literatur ilmiah yang secara eksplisit mengkaji adopsi AI dalam Pendidikan IPA, seperti artikel jurnal terindeks Scopus dan SINTA 1–2, prosiding ilmiah, dan dokumen akademik lainnya (Dewi *et al.*, 2021). Sedangkan data sekunder berasal dari literatur terkait topik umum AI, Pendidikan IPA, dan TPACK Framework, yang diperoleh dari buku referensi, tinjauan teori, dan hasil kajian terdahulu yang relevan. Kedua jenis data ini diorganisasikan dan dianalisis untuk menjawab fokus penelitian secara menyeluruh dengan tetap mengacu pada kata kunci yang telah ditetapkan.

Teori Dasar Penelitian

Penelitian ini didasarkan pada dua kerangka teori utama yang saling melengkapi, yaitu konsep Artificial Intelligence dan TPACK Framework. Konsep AI yang digunakan dalam penelitian ini merujuk pada teknologi digital yang mampu meniru proses berpikir manusia untuk mendukung personalisasi dan efektivitas pembelajaran (Lievertz, 2019). Sedangkan TPACK Framework merupakan model konseptual yang memadukan pengetahuan teknologi, pedagogik, dan konten sebagai fondasi keterampilan mengajar efektif di era digital (Dewi & Listiaji, 2024; Kholid *et al.*, 2023; Koehler *et al.*, 2013). Integrasi kedua teori ini menjadi dasar

analisis dalam penelitian ini untuk memahami bagaimana AI diadopsi secara pedagogis dan substantif dalam konteks Pendidikan IPA.

Prosedur dan Teknik Pengumpulan Data

Proses pengumpulan data dalam penelitian ini mengikuti tahapan sistematis sesuai protokol *Systematic Literature Review*, yang bertujuan memastikan transparansi dan replikabilitas penelitian (Ye *et al.*, 2024). Tahap pertama dimulai dengan merumuskan pertanyaan penelitian yang spesifik terkait integrasi AI dalam konteks TPACK untuk Pendidikan IPA. Selanjutnya, dikembangkan protokol SLR yang mencakup strategi pencarian menggunakan kombinasi kata kunci: *Artificial Intelligence*, *Science Education*, dan *TPACK*. Basis data elektronik yang digunakan mencakup Scopus, Google Scholar, dan SINTA, dengan inklusi terhadap jurnal terbuka dan akses penuh. Proses penyaringan dilakukan menggunakan kriteria inklusi-eksklusi yang telah ditentukan, disusul oleh evaluasi kualitas studi menggunakan pedoman PRISMA dan pemetaan analisis berdasarkan konteks dan relevansi isi.

Teknik Analisis Data

Teknik analisis data yang digunakan dalam penelitian ini adalah *content analysis* yang bertujuan mengidentifikasi pola, tema, dan hubungan antar konsep dalam literatur yang dikaji. Analisis ini dilakukan dengan membaca mendalam dan menandai informasi kunci yang relevan dengan variabel penelitian, kemudian mengelompokkannya berdasarkan keterkaitan antara AI, Pendidikan IPA, dan dimensi dalam kerangka TPACK (Raman *et al.*, 2022). Setiap studi yang lolos seleksi diekstraksi informasinya untuk ditabulasi, dianalisis, dan disintesis guna menyusun kesimpulan yang valid dan dapat diandalkan. Proses ini juga mempertimbangkan keberulangan temuan, kualitas metodologi studi, serta relevansi terhadap fokus penelitian. Dengan pendekatan ini, hasil penelitian diharapkan menyajikan gambaran menyeluruh dan mendalam yang mampu menjawab pertanyaan riset secara kritis dan sistematis.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil

Berdasarkan hasil kajian literatur, Artificial Intelligence (AI) telah diimplementasikan dalam pendidikan melalui berbagai pendekatan yang beragam, mulai dari penggunaan alat bantu pengajaran berbasis AI seperti ChatGPT, hingga pengembangan sistem tutor cerdas dan pembelajaran adaptif yang bersifat personalisasi (Feldman-Maggor *et al.*, 2025). Dalam konteks Pendidikan IPA, AI mulai digunakan untuk mendukung visualisasi proses ilmiah dan analisis data eksperimen, yang membantu siswa memahami konsep-konsep sains abstrak dengan cara yang lebih interaktif (Feldman-Maggor *et al.*, 2025). Literatur juga mengidentifikasi kecenderungan penggunaan AI sebagai bagian dari kurikulum pendidikan sains, terutama melalui pemanfaatan model pembelajaran berbasis proyek yang melibatkan teknologi AI secara langsung dalam eksplorasi masalah ilmiah (Tillman *et al.*, 2024).

Studi-studi literatur mengungkapkan bahwa integrasi AI dalam pendidikan tidak hanya terbatas pada penggunaan teknologi semata, namun juga mencakup proses transformasi pedagogik yang memungkinkan pengembangan pembelajaran berbasis data dan personalisasi materi ajar sesuai kebutuhan individu peserta didik (Tillman *et al.*, 2024). Selain itu, peran guru dalam konteks AI juga mengalami pergeseran dari fasilitator pembelajaran menjadi desainer sistem pembelajaran cerdas, yang membutuhkan pemahaman baru terkait kompetensi teknologi dan etika penggunaan AI dalam ruang kelas (Celik, 2023). Temuan ini memperlihatkan bahwa

AI membawa perubahan struktural dalam pembelajaran, baik dari sisi konten, metode, maupun interaksi pedagogis.

Temuan deskriptif dan eksplanatif dari kajian literatur tentang AI menunjukkan adanya kesenjangan antara potensi AI dalam pembelajaran dan pemahaman mendalam guru terhadap integrasi teknologi dalam pembelajaran IPA. Realitas ini memperkuat argumen bahwa pemetaan sistematis terhadap integrasi AI dalam konteks pedagogik dan konten sains belum banyak dilakukan. Kajian ini menjadi relevan karena AI telah diadopsi secara luas, namun implementasinya seringkali belum mempertimbangkan prinsip pedagogis dan substansi keilmuan secara menyeluruh.

Literatur mengenai Pendidikan IPA menunjukkan bahwa pendekatan pembelajaran sains yang berkembang saat ini mencakup penggunaan strategi inkuiri ilmiah, pembelajaran berbasis proyek, dan eksplorasi konsep-konsep ilmiah melalui pendekatan interdisipliner seperti STEM (Mnguni *et al.*, 2024). Pendidikan IPA secara global terus mengembangkan bentuk pembelajaran yang memfasilitasi pemahaman konsep sains berbasis konteks kehidupan nyata dan relevansi sosial. Dalam praktiknya, pengajaran IPA juga mulai memasukkan teknologi digital sebagai alat bantu visualisasi dan eksperimen virtual, yang menjadi salah satu pendorong utama reformasi pembelajaran sains di abad ke-21 (Albahijan *et al.*, 2025).

Data yang ditemukan dalam literatur memperlihatkan bahwa Pendidikan IPA saat ini mengalami transisi dari pembelajaran konvensional berbasis hafalan menuju pendekatan yang lebih konstruktivis dan terintegrasi teknologi. Tujuan utama dari pendekatan ini adalah membentuk pemahaman ilmiah yang utuh serta keterampilan berpikir ilmiah yang kontekstual, yang mendorong siswa untuk memahami fenomena alam melalui observasi, eksperimen, dan interpretasi berbasis data (Albahijan *et al.*, 2025). Selain itu, penekanan terhadap kemampuan literasi sains juga meningkat, seiring dengan kebutuhan peserta didik untuk mampu mengambil keputusan berdasarkan pengetahuan ilmiah dalam kehidupan sehari-hari (Kazimova *et al.*, 2025).

Relasi antara deskripsi dan eksplanasi kajian Pendidikan IPA dengan permasalahan penelitian menunjukkan bahwa upaya integrasi teknologi dalam pembelajaran IPA belum banyak dikaitkan secara eksplisit dengan konsep pedagogik yang mendalam. Meskipun terdapat kecenderungan ke arah penggunaan teknologi dan AI, belum banyak studi yang secara sistematis memetakan bagaimana pendidikan IPA dapat difasilitasi melalui pendekatan yang berbasis kerangka konseptual terpadu seperti TPACK.

Kerangka Technological Pedagogical Content Knowledge (TPACK) merupakan model yang banyak digunakan dalam penelitian pendidikan untuk menjelaskan integrasi antara konten, pedagogi, dan teknologi dalam praktik pengajaran. Literatur menunjukkan bahwa TPACK telah diadaptasi dalam berbagai konteks mata pelajaran dan tingkat pendidikan, termasuk dalam pelatihan guru dan pengembangan profesional guru berbasis teknologi (Ghazali & Abdul Rahman, 2023). Model ini menekankan pentingnya keseimbangan antara tiga domain pengetahuan yang saling terkait dan saling mendukung untuk mendesain pembelajaran yang bermakna di era digital (Othman & Maat, 2020).

Dalam praktiknya, TPACK digunakan untuk menganalisis kompetensi guru dalam mengintegrasikan teknologi ke dalam pengajaran dengan cara yang tidak mengorbankan kedalaman konten maupun efektivitas pedagogi. Temuan literatur menyebutkan bahwa pemahaman guru terhadap interaksi antara teknologi, pedagogi, dan konten sangat menentukan keberhasilan penerapan teknologi seperti AI dalam pembelajaran. Selain itu, beberapa studi juga mulai mengembangkan sub-model seperti Intelligent-TPACK untuk memasukkan aspek literasi AI dan etika penggunaan teknologi cerdas dalam pendidikan (Al-Abdullatif, 2024).

Keterkaitan antara data deskriptif dan eksplanatif terkait TPACK dengan masalah penelitian menunjukkan bahwa TPACK dapat menjadi kerangka yang tepat untuk memetakan

bagaimana AI diintegrasikan dalam pembelajaran IPA secara pedagogis dan substantif. Kekurangan kajian yang secara eksplisit menggabungkan ketiga domain TPACK dengan teknologi AI menjadi celah penting yang berusaha dijawab oleh penelitian ini, dalam rangka memperkaya kerangka kerja konseptual bagi integrasi AI dalam pembelajaran sains secara holistik.

Pembahasan

Hasil kajian literatur sistematis dalam penelitian ini menunjukkan bahwa integrasi AI dalam pembelajaran IPA telah dilakukan dalam bentuk-bentuk yang beragam, namun masih didominasi oleh pendekatan fungsional teknologi, bukan pendekatan pedagogis yang terstruktur. Meski AI sudah mulai diterapkan dalam kegiatan pembelajaran seperti visualisasi konsep sains dan asesmen adaptif, penggunaan teknologi ini belum sepenuhnya dikaitkan dengan dimensi konten dan pedagogi dalam kerangka TPACK. Temuan juga memperlihatkan bahwa kerangka TPACK dapat memetakan bagaimana AI terhubung dengan elemen-elemen pembelajaran IPA secara menyeluruh, namun studi yang mengkombinasikan ketiganya secara eksplisit masih tergolong terbatas (Goldman *et al.*, 2024).

dibandingkan dengan penelitian sebelumnya yang cenderung memisahkan antara pembahasan AI dan kerangka TPACK, penelitian ini menawarkan integrasi komprehensif yang tidak hanya mendeskripsikan penggunaan AI, tetapi juga menempatkannya dalam posisi konseptual yang utuh melalui lensa TPACK (Feldman-Maggor *et al.*, 2025). Beberapa studi terdahulu masih melihat TPACK sebagai kerangka kerja statis yang belum mencakup dimensi baru dari AI, sementara studi ini berhasil menyusun pendekatan reflektif dan sistematis yang menunjukkan bagaimana AI dapat menjadi bagian integral dari domain Teknologi, Pedagogi, dan Konten dalam Pendidikan IPA (Celik, 2023).

Dari hasil integrasi analitis yang dilakukan, penelitian ini memberikan refleksi penting bahwa pemetaan integrasi AI melalui TPACK bukan hanya memungkinkan penataan ulang strategi pengajaran, tetapi juga membuka ruang untuk reorientasi kurikulum IPA agar lebih adaptif terhadap perkembangan teknologi pendidikan. Tujuan utama penelitian, yaitu memahami bagaimana AI diintegrasikan dan dipetakan secara konseptual, tercapai dengan memperlihatkan kebutuhan mendesak akan literasi pedagogik dan konten dalam penggunaan teknologi pembelajaran berbasis AI (Chan & Tang, 2024).

Implikasi utama dari penelitian ini terletak pada pentingnya pelatihan guru dan perumusan kebijakan pendidikan yang menjadikan TPACK sebagai dasar dalam integrasi AI di kelas IPA. Hasil penelitian ini mendukung pengembangan model pembelajaran berbasis teknologi cerdas yang tidak hanya efisien, tetapi juga terstruktur secara pedagogis dan substansial. Oleh karena itu, penelitian ini dapat dimanfaatkan oleh pengembang kurikulum, pengambil kebijakan pendidikan, serta program pelatihan guru untuk menciptakan lingkungan belajar yang lebih bermakna dan sesuai dengan tantangan abad ke-21 (Tillman *et al.*, 2024).

Hasil yang diperoleh dalam penelitian ini sangat dipengaruhi oleh pendekatan metodologis yang ketat dan terstruktur dari SLR, yang memungkinkan peneliti untuk menyaring informasi yang relevan dan membandingkannya dalam satu kerangka analisis. Minimnya penelitian terdahulu yang mengintegrasikan AI secara eksplisit dalam TPACK menyebabkan data yang tersedia masih bersifat fragmentaris. Dengan demikian, pendekatan analitis yang dikembangkan dalam studi ini mampu memperlihatkan potensi kerangka TPACK sebagai peta konseptual dalam menjembatani teknologi AI dan praktik pembelajaran IPA secara komprehensif (Ning *et al.*, 2024).

Sebagai tindak lanjut dari temuan penelitian ini, diperlukan langkah konkret berupa pengembangan modul pelatihan guru berbasis TPACK yang secara spesifik menargetkan penggunaan AI dalam pengajaran IPA. Selain itu, institusi pendidikan juga perlu melakukan

evaluasi terhadap kesiapan guru dalam memahami aspek teknologis, pedagogis, dan konten secara simultan. Kolaborasi antara pengembang teknologi, akademisi pendidikan, dan praktisi sekolah menjadi kunci untuk membangun ekosistem pembelajaran sains yang berkelanjutan dan berbasis teknologi cerdas (Goldman *et al.*, 2024).

Tabel 1. Integrasi AI dalam Pembelajaran IPA melalui Kerangka TPACK

Dimensi TPACK	Bentuk Integrasi AI dalam Pembelajaran IPA	Temuan Kunci
Technological Knowledge (TK)	Penggunaan aplikasi AI seperti ChatGPT, simulasi berbasis AI, sistem tutor cerdas	Guru memahami teknologi, namun belum secara optimal mengaitkan dengan konten dan pedagogi IPA (Goldman <i>et al.</i> , 2024)
Pedagogical Knowledge (PK)	Adaptasi pendekatan pembelajaran aktif menggunakan AI untuk peningkatan interaksi	Pembelajaran cenderung masih teacher-centered; penggunaan AI belum terarah secara pedagogis (Celik, 2023)
Content Knowledge (CK)	Penggunaan AI untuk menjelaskan konsep sains melalui visualisasi dan eksperimen virtual	AI membantu menjembatani konsep abstrak sains, tetapi belum sepenuhnya mendukung keakuratan konten ilmiah (Feldman-Maggor <i>et al.</i> , 2025)
Technological Pedagogical Knowledge (TPK)	Desain pembelajaran adaptif berbasis AI, pemanfaatan AI untuk umpan balik otomatis	Guru mulai menggunakan AI untuk mendukung personalisasi, tetapi belum secara sadar merancang pembelajaran berdasarkan TPK (Chan & Tang, 2024)
Technological Content Knowledge (TCK)	Integrasi AI untuk mengajarkan konten IPA melalui simulasi, data mining, dan eksperimen digital	AI memperkuat penyampaian konten, namun pemilihan teknologi tidak selalu sesuai karakteristik materi sains (Kim <i>et al.</i> , 2021)
Pedagogical Content Knowledge (PCK)	Pendekatan inkuiri dan problem-based learning difasilitasi AI dalam konteks sains	Keterpaduan pedagogi dan konten mulai terlihat, tetapi AI belum dimanfaatkan sebagai alat pengembangan PCK guru secara eksplisit (Mnguni <i>et al.</i> , 2024)
TPACK (Utuh)	Rencana pembelajaran berbasis AI yang menyatukan teknologi, strategi mengajar, dan konten IPA	Penelitian menunjukkan sangat sedikit literatur yang memetakan AI dalam kerangka TPACK secara menyeluruh; inilah celah yang diisi oleh penelitian ini

KESIMPULAN

Secara mengejutkan, hasil penelitian ini mengungkap bahwa meskipun integrasi teknologi kecerdasan buatan (AI) telah menyebar luas dalam dunia pendidikan, hampir tidak ada pemetaan konseptual yang secara eksplisit menggabungkan ketiga domain utama (teknologi, pedagogi, dan konten) sebagaimana dimuat dalam kerangka TPACK dalam konteks pembelajaran IPA. Bahkan lebih mengejutkan lagi, penggunaan AI yang telah banyak diterapkan dalam bentuk alat bantu pembelajaran justru sering dioperasikan tanpa fondasi pedagogis dan konten sains yang memadai, menjadikan implementasinya cenderung teknosentris dan tidak menyentuh esensi proses belajar-mengajar yang bermakna. Penelitian ini menunjukkan bahwa hanya melalui pendekatan TPACK yang integratif, AI dapat dioptimalkan

bukan hanya sebagai teknologi, tetapi sebagai jembatan strategis dalam membangun pembelajaran sains yang holistik, adaptif, dan kontekstual.

Penelitian ini memberikan kontribusi penting baik secara teoritis maupun praktis terhadap pengembangan keilmuan di bidang pendidikan sains. Dari sisi teoretis, penelitian ini memperluas batas aplikasi kerangka TPACK dengan menghadirkan perspektif baru yang memasukkan teknologi AI ke dalam ranah integrasi pengetahuan pedagogik dan konten. Penelitian ini juga memperkaya literatur dengan mengusulkan model konseptual yang lebih responsif terhadap dinamika teknologi cerdas dalam pendidikan. Secara praktis, hasil penelitian ini memberikan peta jalan bagi guru dan pembuat kebijakan pendidikan dalam merancang pelatihan dan kurikulum berbasis AI yang berbasis pedagogi dan konten yang kuat, sehingga mampu membekali siswa dengan kompetensi sains abad ke-21 secara lebih bermakna dan terstruktur.

Penelitian ini tentu memiliki keterbatasan yang tidak mengurangi nilai signifikansi, namun justru membuka ruang eksplorasi yang luas untuk studi lanjutan. Keterbatasan utama terletak pada fokus data yang sepenuhnya berbasis kajian literatur, sehingga belum mencakup bukti empiris dari praktik kelas secara langsung. Namun demikian, hal ini menjadi peluang besar bagi penelitian berikutnya untuk melakukan validasi empiris terhadap model integrasi AI-TPACK dalam konteks pembelajaran IPA di berbagai jenjang pendidikan dan latar budaya yang beragam. Penelitian lanjutan juga dapat memperluas fokus pada pengembangan instrumen asesmen yang mengukur efektivitas integrasi AI dalam kerangka TPACK secara lebih kuantitatif dan kontekstual.

DAFTAR PUSTAKA

- Al-Abdullatif, A. M. (2024). Modeling Teachers' Acceptance of Generative Artificial Intelligence Use in Higher Education: The Role of AI Literacy, Intelligent TPACK, and Perceived Trust. *Education Sciences*, 14(11). <https://doi.org/10.3390/EDUCSCI14111209>
- Albahijan, N., Alsuraibi, H., Alotaibi, J., & Alotaibi, K. (2025). Artificial Intelligence in Education. *International Journal of Computers and Informatics*, 4(1), 9–61. <https://doi.org/10.59992/IJCI.2025.V4N1P1>
- Bajpai, P. (2024). Artificial Intelligence and its Use in the Field of Education. *International Journal for Research in Applied Science and Engineering Technology*, 12(5), 1952–1957. <https://doi.org/10.22214/IJRASET.2024.61986>
- Celik, I. (2023). Towards Intelligent-TPACK: An empirical study on teachers' professional knowledge to ethically integrate artificial intelligence (AI)-based tools into education. *Computers in Human Behavior*, 138, 107468. <https://doi.org/10.1016/j.chb.2022.107468>
- Chan, K. K.-W., & Tang, W. K.-W. (2024). Evaluating English Teachers' Artificial Intelligence Readiness and Training Needs with a TPACK-Based Model. *World Journal of English Language*, 15(1), 129. <https://doi.org/10.5430/WJEL.V15N1P129>
- Dewi, N. R., & Listiaji, P. (2024). Comparative Analysis of Understanding TPACK and Education for Sustainable Development (ESD) on Indonesian And Malaysian Pre-Service Teacher. *Jurnal Pendidikan IPA Indonesia*, 13(4), 562–571. <https://doi.org/10.15294/6HHNV766>
- Dewi, N. R., Rusilowati, A., Saptono, S., Haryani, S., Wiyanto, W., Ridlo, S., Listiaji, P., & Atunnisa, R. (2021). Technological, pedagogical, content Knowledge (TPACK) research trends : A systematic literature review publish on 2010 to 2020. *Journal of Turkish Science Education*, 18(4), 589–604. <https://doi.org/10.36681/tused.2021.92>

- Feldman-Maggor, Y., Blonder, R., & Alexandron, G. (2025). Perspectives of Generative AI in Chemistry Education Within the TPACK Framework. *Journal of Science Education and Technology*, 34(1), 1–12. <https://doi.org/10.1007/s10956-024-10147-3>
- Ghazali, N. E., & Abdul Rahman, N. F. (2023). Knowledge Requirement of Incorporating Artificial Intelligence in Engineering Education through TPACK. *Asean Journal of Engineering Education*, 7(1), 34–40. <https://doi.org/10.11113/AJEE2023.7N1.123>
- Goldman, S., Carreon, A., & Smith, S. (2024). Exploring the Integration of Artificial Intelligence into Special Education Teacher Preparation through the TPACK Framework. *Journal of Special Education Preparation*, 4(2), 52–64. <https://doi.org/10.33043/6zx26bb2>
- Hamal, O., El Faddouli, N. E., Alaoui Harouni, M. H., & Lu, J. (2022). Artificial Intelligent in Education. *Sustainability*, 14(5). <https://doi.org/10.3390/SU14052862>
- Kazimova, D., Tazhigulova, G., Shraimanova, G., Zatyneyko, A., & Sharzadin, A. (2025). Transforming University Education with AI: A Systematic Review of Technologies, Applications, and Implications. *International Journal of Engineering Pedagogy (IJEP)*, 15(1), 4–24. <https://doi.org/10.3991/IJEP.V15I1.50773>
- Kholid, M. N., Hendriyanto, A., Sahara, S., Muhaimin, L. H., Juandi, D., Sujadi, I., Kuncoro, K. S., & Adnan, M. (2023). A systematic literature review of Technological, Pedagogical and Content Knowledge (TPACK) in mathematics education: Future challenges for educational practice and research. *Cogent Education*, 10(2). <https://doi.org/10.1080/2331186X.2023.2269047>
- Kim, S., Jang, Y., Choi, S., Kim, W., Jung, H., Kim, S., & Kim, H. (2021). Analyzing Teacher Competency with TPACK for K-12 AI Education. *KI - Künstliche Intelligenz*, 35(2), 139–151. <https://doi.org/10.1007/S13218-021-00731-9>
- Koehler, M. J., Mishra, P., & Cain, W. (2013). What is Technological Pedagogical Content Knowledge (TPACK)? *Journal of Education*, 193(3), 13–19. <https://doi.org/10.1177/002205741319300303>
- L. Mercado, J. N., M. Panganiban, V. J., & I. Ramos, T. M. (2019). Technology Integration in Teaching Science using TPACK among Pre – Service Science Teachers of St. Bridget College Batangas City, Philippines. *International Multidisciplinary Research Journal*, 1(1), 63–71. <https://doi.org/10.54476/iimrj411>
- Lievertz, M. (2019). Artificial Intelligence in Education. *Artificial Intelligence and Machine Learning for Business for Non-Engineers*, 125–140. <https://doi.org/10.1201/9780367821654-11>
- Micheni, E., Machii, J., & Murumba, J. (2024). The Role of Artificial Intelligence in Education. *Open Journal for Information Technology*, 7(1), 43–54. <https://doi.org/10.32591/COAS.OJIT.0701.04043M>
- Mnguni, L., Nuangchalerm, P., Ahmad Zaky El Islami, R., Sibanda, D., Ramulumo, M., & Sari, I. J. (2024). AI Integration in Biology Education: Comparative Insights into Perceived Benefits and TPACK among South African and Indonesian Pre-service Teachers. *Asia-Pacific Science Education*. <https://doi.org/10.1163/23641177-BJA10086>
- Ning, Y., Zhang, C., Xu, B., Zhou, Y., & Wijaya, T. T. (2024). Teachers' AI-TPACK: Exploring the Relationship between Knowledge Elements. *Sustainability*, 16(3), 978. <https://doi.org/10.3390/su16030978>
- Othman, N., & Maat, S. M. (2020). TPACK Framework Based Research in Mathematical Education: A Systematic Literature Review. *International Journal of Academic Research in Progressive Education and Development*, 9(2). <https://doi.org/10.6007/IJARPED/V9-I2/7284>

- Raman, F. I., Hutagalung, F. D., & Abdul Rahman, M. N. (2022). Preparing pre-service teachers for integration of education for sustainable development in school: A systematic review (2013-2022). *Malaysian Journal of Society and Space*, 18(3). <https://doi.org/10.17576/geo-2022-1803-10>
- Sadiku, M. N. O., Ashaolu, T. J., Ajayi-Majebi, A., & Musa, S. M. (2021). Artificial Intelligence in Education. *International Journal Of Scientific Advances*, 2(1). <https://doi.org/10.51542/IJSCIA.V2I1.2>
- Tillman, D. A., Cochran, C., Soto, T. J., Robertson, W. H., An, S. A., & Tinajero, J. V. (2024). Use of Artificial Intelligence to Improve Teacher Preparation. *2024 Artificial Intelligence x Humanities, Education, and Art (AIxHEART)*, 41–45. <https://doi.org/10.1109/AIxHeart62327.2024.00014>
- Ye, L., Ismail, H. H., & Aziz, A. A. (2024). Innovative Strategies for TPACK Development in Pre-Service English Teacher Education in the 21st Century: A Systematic Review. *Forum for Linguistic Studies*, 6(6), 274–294. <https://doi.org/10.30564/FLS.V6I6.7308>
- Zakaria, N. Y. K., & Hashim, H. (2024). Shaping the Future of Education: Conceptualising Pre-Service Teachers' Perspectives on Artificial Intelligence (AI) Integration. *International Journal of Academic Research in Business and Social Sciences*, 14(5). <https://doi.org/10.6007/IJARBSS/v14-i5/21584>