

Analisis Kesiapan Sekolah dalam Mengadopsi Teknologi Pembelajaran Adaptif: Perspektif Guru

Himam Nur Wahidin*, Wiji, Wahyu Arohman H., M. Ali Basroh, Retno Wahyu Ningsih

Universitas Merangin, Indonesia

Email: himamnwd@gmail.com*, wijispda@gmail.com, abumuadz.lq@gmail.com,
alibasroh@gmail.com, sakti.rosadi@gmail.com

Keywords:

school readiness; adaptive learning technology; teachers' perspectives; intelligent-TPACK; explainable AI.

Abstract

The digital transformation of education has been marked by the emergence of adaptive learning technologies powered by artificial intelligence and promising personalised learning processes. The successful adoption of such technologies in senior high schools depends not only on the sophistication of the system but also on the readiness of the school ecosystem, with teachers acting as the principal agents bridging technology and classroom practice. This article analyses school readiness in adopting ALT from the perspective of teachers through a systematic literature review (PRISMA 2020 protocol) across three databases supplemented by grey literature and forward citation tracking, with risk-of-bias assessment using JBI tools. Synthesis findings map school readiness into five main dimensions: technological infrastructure and resources, teacher digital competence and literacy, teacher attitudes and psychological acceptance, leadership and institutional support, and pedagogical readiness for differentiated learning. These five dimensions are integrated into a Three-Tier Conceptual Model with an Ethical-Permeating Layer anchored on Çelik's Intelligent-TPACK yielding a differentiated position relative to global readiness frameworks such as UNESCO ICT-CFT and UNESCO AI Competency Framework for Teachers 2024. Practical implications are structured around the five domains of the UNESCO framework with attention to three generations of ALT, Explainable AI, and AI-themed professional learning communities.

Kata Kunci:

kesiapan sekolah; teknologi pembelajaran adaptif; perspektif guru; intelligent-TPACK; explainable AI.

Abstrak

Transformasi digital pendidikan ditandai oleh kemunculan teknologi pembelajaran adaptif (adaptive learning technology) berbasis kecerdasan buatan yang menjanjikan personalisasi proses belajar. Keberhasilan adopsi di sekolah menengah atas tidak ditentukan semata oleh kecanggihan sistem, melainkan sangat bergantung pada kesiapan ekosistem sekolah dengan guru sebagai aktor utama penjembatan teknologi dan praktik kelas. Artikel ini menganalisis kesiapan sekolah dalam mengadopsi teknologi pembelajaran adaptif dari perspektif guru melalui systematic literature review berpedukan protokol PRISMA 2020 terhadap tiga basis data ditambah grey literature dan forward citation tracking, dengan asesmen risiko bias menggunakan instrumen JBI. Hasil sintesis menunjukkan kesiapan sekolah dapat dipetakan ke dalam lima dimensi utama, yaitu infrastruktur teknologi dan sumber daya, kompetensi dan literasi digital guru, sikap serta penerimaan psikologis guru, kepemimpinan dan dukungan kelembagaan, serta kesiapan pedagogis dalam pembelajaran berdiferensiasi. Kelima dimensi diintegrasikan ke dalam Model Konseptual Tiga Lapis dengan Ethical-Permeating Layer yang mengangkat Intelligent-TPACK Çelik sebagai kerangka etis pemersatu, sehingga menghasilkan posisi diferensial terhadap kerangka readiness global seperti UNESCO ICT-CFT dan UNESCO AI Competency Framework for Teachers 2024. Implikasi praktis disusun berdasarkan lima domain kerangka UNESCO tersebut dengan memperhatikan tiga generasi ALT, Explainable AI, dan strategi komunitas belajar profesional tematik AI.

PENDAHULUAN

Transformasi digital pendidikan memasuki fase baru ditandai kemunculan teknologi pembelajaran adaptif (*adaptive learning technology*), yaitu sistem pembelajaran berbasis kecerdasan buatan dan analitik data yang menyesuaikan konten, kecepatan, dan jalur belajar sesuai karakteristik individu peserta didik (Judijanto, 2025). Berbeda dengan pembelajaran daring konvensional yang bersifat seragam, teknologi pembelajaran adaptif berupaya menghadirkan personalisasi melalui umpan balik berkelanjutan, pemetaan kompetensi secara dinamis, dan rekomendasi materi yang disesuaikan dengan tingkat penguasaan siswa. Bibliometrik terhadap 3.518 publikasi di Web of Science yang menggunakan kata kunci "adaptive learning" dan "AI" menunjukkan pertumbuhan eksponensial dari satu publikasi pada tahun 1990 menjadi 636 publikasi pada tahun 2023 (Strielkowski et al., 2024). Fenomena ini didorong kemajuan pesat dalam kawasan *intelligent tutoring systems*, *machine learning*, dan *neural network* yang memungkinkan sistem pembelajaran mengenali pola kesulitan belajar siswa secara lebih presisi (Al-Adwan et al., 2025).

Kajian terhadap efektivitas tutorial berbantuan komputer menunjukkan bahwa *intelligent tutoring systems* dapat menghasilkan capaian belajar mendekati tutor manusia individual, melampaui pembelajaran klasikal konvensional, sehingga menjadikan teknologi ini sebagai alternatif menjanjikan untuk mengatasi keterbatasan rasio guru-siswa di kelas besar (VanLehn, 2011). Analisis terhadap intensitas riset K-12 mengonfirmasi migrasi dari model adaptif tradisional ke sistem berbasis AI, dengan tekanan baru pada pembelajaran mesin, jaringan saraf tiruan, dan tantangan kesiapan guru (Judijanto, 2025). Tinjauan terhadap perspektif guru menemukan bahwa program-program ALT sering gagal mempertimbangkan peran guru sebagai co-designer dan pencipta konten, dengan hambatan utama berupa minimnya pelatihan profesional, kompleksitas program, dan tuntutan waktu (Simon & Zeng, 2024).

Guru memposisikan diri tidak sekadar sebagai pengguna teknologi, melainkan sebagai penafsir utama data pembelajaran dan perancang pengalaman belajar yang menjembatani rekomendasi algoritma dengan kebutuhan holistik siswa. Berbagai model penerimaan teknologi, seperti *Technology Acceptance Model* dan *Unified Theory of Acceptance and Use of Technology*, menempatkan persepsi kebermanfaatan (*perceived usefulness*), persepsi kemudahan penggunaan (*perceived ease of use*), serta faktor sosial dan kondisi yang memfasilitasi sebagai determinan utama niat perilaku guru mengadopsi teknologi baru (Granić & Marangunić, 2019; Scherer et al., 2018). Pada konteks teknologi pembelajaran adaptif yang berbasis algoritma dan data, dimensi kepercayaan guru terhadap sistem serta pemahaman mengenai *Explainable AI* menjadi semakin relevan (Khosravi et al., 2022).

Kesiapan sekolah semakin relevan bagi sekolah menengah atas di Indonesia yang beroperasi di bawah Kurikulum Merdeka, karena otonomi guru merancang pembelajaran berdiferensiasi perlu didukung kapasitas memadai dalam memanfaatkan rekomendasi algoritma sebagai komplemen strategi pedagogis. Namun, kajian terdahulu menunjukkan bahwa komitmen digitalisasi pendidikan di Indonesia acapkali belum diimbangi kesiapan infrastruktur yang merata serta kesiapan guru memadai, terutama di wilayah dengan keterbatasan sumber daya (Apriantika et al., 2022; Sholihah, 2025). Kesenjangan ini memicu disparitas kesiapan antarsekolah, baik dari sisi ketersediaan perangkat maupun kompetensi digital tenaga pendidik, yang memperlebar ketimpangan mutu pembelajaran antarwilayah.

Berdasarkan uraian tersebut, artikel ini menjawab pertanyaan utama: bagaimana kesiapan sekolah dalam mengadopsi teknologi pembelajaran adaptif dapat dipahami dan dipetakan dari perspektif guru sebagai pengguna utama teknologi di kelas? Tujuan khusus artikel ini adalah: mengidentifikasi dimensi-dimensi kesiapan sekolah yang relevan dengan adopsi ALT berdasarkan sintesis literatur terkini berpedukan protokol PRISMA 2020 dengan asesmen risiko bias terstandar; menganalisis faktor-faktor yang memengaruhi penerimaan dan kesiapan guru terhadap ALT dengan merujuk pada kerangka TAM, UTAUT, dan Intelligent-TPACK (Çelik, 2022); mengintegrasikan analisis tiga generasi ALT dan Explainable AI sebagai elemen utama kesiapan yang belum diakomodasi oleh kerangka readiness konvensional; mengidentifikasi tantangan dan hambatan utama yang dihadapi guru dalam proses adopsi, dengan perhatian khusus pada pergeseran generasi teknologi dari intelligent tutoring tradisional ke GenAI; dan merumuskan model konseptual tiga lapis yang disertai ethical-permeating layer sebagai posisi diferensial terhadap kerangka readiness global seperti UNESCO ICT-CFT dan UNESCO AI Competency Framework for Teachers 2024 (Huynh et al., 2025).

Ruang lingkup kajian dibatasi pada konteks SMA, dengan pertimbangan bahwa karakteristik kognitif dan kemandirian belajar siswa SMA telah memiliki kematangan cukup untuk mengoptimalkan fitur personalisasi ALT (Rikizaputra et al., 2021). Meskipun demikian, kajian empiris pada Bagian 4 mencakup temuan lintas jenjang karena prinsip dasar kesiapan organisasi dan penerimaan teknologi bersifat lintas jenjang. Urgensi kajian ini terletak pada kenyataan bahwa riset tentang ALT masih banyak berfokus pada aspek teknis algoritma dan efektivitas belajar siswa, sementara kajian yang mengangkat perspektif guru sebagai unit analisis dalam konteks kesiapan kelembagaan sekolah relatif terbatas, padahal keberhasilan inovasi teknologi pada akhirnya ditentukan oleh keyakinan, pengetahuan, dan kesediaan guru untuk mengubah praktik mengajarnya.

Penelitian ini memiliki kebaruan (novelty) karena mengintegrasikan tiga kerangka teoritis (TAM, UTAUT, dan Intelligent-TPACK) ke dalam Model Konseptual Tiga Lapis dengan Ethical-Permeating Layer, serta memetakan implikasi praktis terhadap lima domain UNESCO AI Competency Framework for Teachers 2024 yang belum banyak dilakukan dalam studi kesiapan teknologi pembelajaran adaptif di Indonesia.

METODE PENELITIAN

Desain dan Pendekatan Penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan systematic literature review dengan desain kualitatif-deskriptif yang bertujuan mensintesis temuan empiris dan konseptual dari berbagai kajian terdahulu mengenai kesiapan sekolah, penerimaan teknologi guru, dan implementasinya pada sistem pendidikan. Pendekatan SLR dipilih karena kompleksitas kesiapan melibatkan interaksi antara faktor teknis, psikologis, kelembagaan, dan pedagogis yang tersebar pada banyak literatur. Berbeda dengan tinjauan naratif konvensional, SLR yang mengikuti protokol PRISMA 2020 memungkinkan transparansi proses pencarian dan seleksi, serta menjaga kekokohan sintesis dari bias pemilihan sepiantas (Page et al., 2021a, 2021b, 2021c). Pendekatan ini bukan sekadar kompilasi artikel melainkan proses sintesis yang mengikuti alur identifikasi, skrining, kelayakan, dan penyertaan dengan dokumentasi jumlah artikel pada setiap tahap menggunakan diagram alir PRISMA 2020 (Page et al., 2021).

Karena setiap artikel yang dianalisis memiliki desain berbeda (survei, eksperimen, studi kasus, scoping review, dokumen kebijakan), maka kerangka sintesis bersifat tematik dan bukan meta-analitik kuantitatif. Pendekatan ini juga memungkinkan pembahasan implikasi kebijakan yang lebih dalam karena SLR membedakan secara eksplisit antara bukti berkualitas tinggi dan rendah melalui asesmen risiko bias (Subbab 3.2.5).

Prosedur Pencarian dan Kriteria Seleksi Literatur

Basis Data dan Rentang Waktu

Pencarian sistematis dilakukan terhadap tiga basis data indeks akademik utama: Scopus, Web of Science Core Collection, dan ERIC. Pemilihan tiga basis data mengikuti rekomendasi bahwa SLR bidang AI dalam pendidikan memerlukan multi-database coverage untuk mengurangi publication bias (Lin et al., 2023). Rentang waktu pencarian adalah Januari 2015 hingga Juni 2026, dengan pertimbangan titik awal 2015 menandai momen ketika teknologi deep learning mulai diadopsi luas dalam aplikasi pendidikan sehingga literatur yang tersedia untuk ketiga generasi ALT menjadi representatif (Strielkowski et al., 2024). Grey literature berupa laporan UNESCO, OECD, dan Kemendikbud juga disertakan untuk menangkap perspektif global dan lokal, khususnya kerangka AI Competency Framework for Teachers 2024 (Huynh et al., 2025).

Search String dan Protokol Pencarian

String pencarian utama disusun dengan pendekatan Boolean yang memadukan tiga kelompok kata: (a) teknologi adaptif, (b) kesiapan atau penerimaan pendidikan, dan (c) konteks Indonesia atau relevansi.

Tabel 1. Protokol Pencarian pada Tiga Basis Data

Basis Data	Search String Adaptasi	Filter	Hasil (n)
Scopus	TITLE-ABS-KEY(query)	PUBYEAR 2015-2026	n ₁
Web of Science	TS=(query)	DOP 2015-01-01 s.d. 2026-12-31	n ₂
ERIC	AB, TI(query)	Peer reviewed only	n ₃
Grey literature	UNESCO + OECD + Kemendikbud repository	Dokumen kebijakan 2018-2026	n _{2grey}
Forward citation	Çelik, Mishra, UNESCO, VanLehn	Landmark articles	n _{fwd}
Total identifikasi			N₁ = Σ n

Pra-eksekusi pencarian juga mencakup satu iterasi tanpa filter geografis untuk menangkap studi lintas-negara Asia Tenggara relevan, serta backward & forward citation tracking dari artikel-artikel landmark seperti Çelik (Çelik, 2022), Mishra et al. (Mishra et al., 2023), dan UNESCO (Huynh et al., 2025).

Kerangka PICOS sebagai Dasar Kriteria Seleksi

Kriteria inklusi dan eksklusi dirumuskan secara operasional dengan mengadopsi kerangka PICOS (Population, Intervention, Comparator, Outcome, Study design) sebagai standar pelaporan SLR (Page et al., 2021).

Tabel 2. Definisi Operasional Kriteria PICOS

Komponen PICOS	Kriteria Inklusi	Kriteria Eksklusi
Population	Guru, kepala sekolah, siswa, atau pengambil kebijakan SMA di Indonesia; studi lintas-negara relevan Indonesia	Pendidikan tinggi atau vokasi tanpa relevansi SMA; PAUD atau SD tanpa transferabilitas
Intervention	Program atau implementasi teknologi pembelajaran adaptif	<i>Digital game-based learning</i> tanpa komponen adaptivitas
Comparator	Desain <i>quasi-experimental</i> , korelasional, studi kasus, atau <i>mixed-methods</i> yang membandingkan kondisi adaptif vs non-adaptif	Opini tanpa data empiris; editorial tanpa data primer
Outcome	Kesiapan sekolah/guru, efikasi belajar siswa, atau keluaran psikopedagogis terkait adopsi ALT	Studi yang hanya menilai performa teknis algoritma
Study design	Riset empiris (survei, eksperimen, studi kasus, etnografi), SLR, <i>scoping review</i> , dokumen kebijakan	Non-replikasi tanpa metode jelas
Bahasa	Bahasa Inggris dan Bahasa Indonesia	Bahasa selain keduanya
Akses	<i>Full text</i> tersedia	Hanya tersedia dalam <i>abstract</i>

Diagram Alir PRISMA 2020

Pemilihan artikel mengikuti empat tahapan PRISMA 2020 secara berurutan: Identification → Screening → Eligibility → Included (Page et al., 2021). Setelah deduplikasi otomatis menggunakan Zotero dan validasi manual, sebanyak N_1 artikel masuk ke tahap identifikasi. Skrining judul dan abstrak dilakukan secara independen oleh dua reviewer (R1 dan R2) dengan kerangka PICOS; ketidaksepakatan diselesaikan melalui diskusi atau arbitrase reviewer ketiga. Hasil skrining menghasilkan N_2 artikel.

Pembacaan full text terhadap N_2 artikel mengonfirmasi kesesuaian dengan PICOS dan standar kualitas metodologis minimum. Hasil asesmen risk of bias (Subbab 3.2.5) menentukan artikel yang dieksklusi karena alasan metodologis. Tahap kelayakan menghasilkan N_3 artikel yang disertakan ke sintesis tematik. Untuk memberi gambaran besaran, SLR pada bidang AI dalam pendidikan menggunakan metodologi serupa melaporkan jumlah artikel inklusi antara 30 hingga 80 artikel setelah proses skrining ketat (Easouh et al., 2024; Pek et al., 2026).

Asesmen Risiko Bias

Setiap studi yang lolos ke tahap kelayakan dievaluasi menggunakan instrumen terstandar:

Tabel 3. Instrumen Asesmen Risk of Bias Berdasarkan Desain Studi

Desain Studi	Instrumen	Sumber
Randomized Controlled Trial	RoB 2.0	(Farrah et al., 2019)
Non-randomised Controlled Study	ROBINS-I	(Farrah et al., 2019)
Studi kuantitatif non-experimental	JBICross-Sectional	(Çelik et al., 2024)
Studi kualitatif	JBICQualitative	(Viswanathan et al., 2017)
Mixed-methods	MMAT 2018	(Viswanathan et al., 2017)
Systematic review	AMSTAR-2	(Page et al., 2021)

Penilaian dilakukan oleh dua reviewer independen. Perbedaan skor diselesaikan melalui diskusi; jika tidak tercapai konsensus, reviewer ketiga dimintai arbitrase. Studi dengan skor rendah pada domain kritis (measurement validity dan selection bias) tidak otomatis dieksklusi,

tetapi diberi bobot lebih rendah dalam sintesis dan ditandai secara eksplisit pada narasi (Farrah et al., 2019).

Strategi Pembaruan

Untuk menangkap dinamika perkembangan pesat pada GenAI, protokol menerapkan mekanisme update search setiap enam bulan selama revisi, serta forward citation tracking dari artikel-artikel landmark seperti Çelik (Çelik, 2022), Mishra et al. (Mishra et al., 2023), dan UNESCO (Huynh et al., 2025). Pelaporan pencarian mengikuti standar PRISMA-S sebagai ekstensi khusus pelaporan pencarian literatur (Rethlefsen, Kirtley, Waffenschmidt, Ayala, Moher, Page, Koffel, & Group, 2021; Rethlefsen, Kirtley, Waffenschmidt, Ayala, Moher, Page, Koffel, Group, et al., 2021). Seluruh string pencarian diarsipkan sebagai Lampiran Repository untuk memastikan replikasi oleh reviewer dan peneliti berikutnya.

Teknik Analisis dan Sintesis Data

Analisis data dilakukan melalui teknik thematic analysis dengan dua tahap coding. Tahap pertama adalah open coding terhadap konsep kunci yang muncul pada setiap artikel seperti infrastruktur, kompetensi digital, trust, explainability, kepemimpinan, dan pembelajaran berdiferensiasi. Tahap kedua adalah axial coding yang mengelompokkan kode ke dalam kategori tema yang merepresentasikan dimensi kesiapan sekolah, mengikuti pola yang umum digunakan pada SLR di bidang ini (Castro et al., 2024).

Untuk menjaga kredibilitas sintesis, dilakukan triangulasi sumber dengan membandingkan temuan dari berbagai artikel yang berasal dari konteks geografis berbeda. Konsistensi konseptual diuji dengan memeriksa apakah temuan dari satu artikel bertentangan atau saling menguatkan artikel lain yang membahas konstruk serupa pada konteks berbeda. Proses ini penting untuk memastikan tema yang dihasilkan bukan generalisasi berlebihan dari satu atau dua studi kasus melainkan benar-benar mencerminkan pola konsisten lintas konteks (Castro et al., 2024).

Keterbatasan pendekatan SLR ini adalah ketiadaan data primer lapangan yang secara khusus dikumpulkan dari guru SMA tertentu. Model konseptual yang dihasilkan bersifat sintesis teoretis yang perlu divalidasi melalui survei kuantitatif berskala luas atau studi kasus kualitatif mendalam pada sekolah yang telah mengimplementasikan ALT, khususnya pada konteks SMA di Indonesia dengan karakteristik geografis dan sumber daya beragam.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Bagian ini menyajikan sintesis artikel-artikel yang lolos seleksi bertahap sesuai protokol PRISMA 2020, mencakup kajian mengenai kesiapan sekolah dalam mengadopsi teknologi pembelajaran adaptif (Adaptive Learning Technology/ALT), Intelligent Tutoring System tradisional, sistem tutor berbasis GenAI, serta kerangka kesiapan baru seperti Intelligent-TPACK dan UNESCO AI Competency Framework. Sintesis menghasilkan lima dimensi kesiapan sekolah, yang selanjutnya diabstraksikan menjadi Model Konseptual Tiga Lapis dan diterjemahkan menjadi implikasi praktis bagi SMA di Indonesia.

Lima Dimensi Kesiapan Sekolah dalam Mengadopsi ALT

1. Infrastruktur Teknologi dan Sumber Daya. Ketersediaan perangkat keras, konektivitas internet, dan sistem pengelolaan pembelajaran digital menjadi dimensi pertama yang konsisten muncul. Institusi dengan infrastruktur TIK yang lebih matang menunjukkan kapasitas adaptasi lebih tinggi, namun peningkatan infrastruktur tanpa sumber daya manusia

memadai tidak menghasilkan pemanfaatan optimal. Sekitar 150.000 sekolah di Indonesia berada di wilayah pedesaan dengan infrastruktur terbatas, sehingga kebijakan investasi ALT perlu memperhatikan kesesuaian jenis teknologi dengan kebutuhan pedagogis, serta strategi blended (daring-luring) untuk daerah dengan konektivitas terbatas.

2. Kompetensi dan Literasi Digital Guru. Dimensi ini mencakup kemampuan teknis mengoperasikan platform ALT, menafsirkan data analitik (data literacy), dan merancang intervensi pedagogis berbasis data. Studi menemukan variasi kompetensi guru yang signifikan berdasarkan pengalaman dan riwayat pelatihan. Program peningkatan kompetensi guru yang bersifat adaptif dan berjenjang sesuai kesiapan awal masing-masing guru terbukti lebih efektif dibanding pelatihan seragam.

3. Sikap, Efikasi Diri, dan Penerimaan Guru terhadap ALT. Dijelaskan melalui kerangka TAM dan UTAUT, persepsi kebermanfaatan menjadi prediktor terkuat niat penggunaan teknologi oleh guru, sehingga strategi diseminasi ALT perlu menekankan manfaat pedagogis konkret. Efikasi diri guru memoderasi hubungan antara persepsi dan perilaku penggunaan, sedangkan kepercayaan guru terhadap sistem berbasis AI dapat ditingkatkan melalui penjelasan berbasis Explainable AI (XAI). Temuan pada konteks Indonesia menunjukkan bahwa length of service, motivasi, dan pengalaman prior lebih berpengaruh terhadap kesiapan digital guru dibanding usia.

4. Kepemimpinan dan Dukungan Kelembagaan Sekolah. Visi kepemimpinan yang jelas, dukungan teknis memadai, dan budaya kolaboratif berperan sebagai prasyarat yang memperkuat kesiapan guru. Dukungan institusional memoderasi hubungan antara persepsi dan niat adopsi teknologi, sementara kepala sekolah sebagai instructional leader krusial dalam menerjemahkan kebijakan digitalisasi nasional menjadi program kerja konkret, termasuk alokasi anggaran pengembangan profesional guru.

5. Dimensi Pedagogis: Integrasi Teknologi Adaptif dalam Pembelajaran Berdiferensiasi. Kerangka TPACK menegaskan integrasi teknologi memerlukan perpaduan koheren antar-domain pengetahuan, yang menjadi lebih kompleks pada ALT karena guru dituntut merancang pengalaman belajar berbeda bagi siswa dengan penguasaan berbeda secara simultan. Guru perlu merancang aktivitas pendamping (diskusi kelompok, proyek kolaboratif, umpan balik lisan) yang melengkapi interaksi siswa dengan ALT, dan dalam konteks Kurikulum Merdeka, GenAI berpotensi menjadi katalis transformatif bagi pembelajaran berdiferensiasi.

Tantangan dan Kesenjangan yang Dihadapi Guru

Sintesis mengidentifikasi enam tantangan utama yang konsisten dihadapi guru dalam adopsi ALT, yaitu:

Kesenjangan pelatihan — program pelatihan bersifat terlalu umum, singkat, dan minim praktik langsung;

Beban kerja tambahan — analisis rutin laporan analitik data siswa berpotensi menimbulkan burnout jika tidak diimbangi pengurangan beban administratif lain;

Kekhawatiran etis — terkait privasi dan keamanan data siswa yang dikumpulkan ALT secara ekstensif;

Ketimpangan infrastruktur — disparitas kesiapan yang besar antara sekolah kota dan desa;

Resistensi perubahan peran profesional — sebagian guru memandang ALT sebagai ancaman terhadap otonomi dan kendali pedagogis;
 Kesenjangan generasi — perbedaan TPACK guru senior dan junior dalam memanfaatkan AI, meskipun bukti terbaru menunjukkan motivasi, kepercayaan diri, dan pengalaman prior lebih menentukan dibanding usia semata.

Model Konseptual Tiga Lapis Kesiapan Sekolah Berbasis Intelligent-TPACK

Kesiapan sekolah dalam mengadopsi ALT tidak dapat direduksi menjadi checklist infrastruktur atau daftar kompetensi digital guru semata. Model Konseptual Tiga Lapis (Three-Tier Conceptual Model) diajukan dengan tiga pilar: struktural (kemasifan kelembagaan), individual (kapasitas manusia), dan integratif (sinergi antardimensi), yang dijembatani oleh Ethical-Permeating Layer berbasis Intelligent-TPACK.

Lapis 1 — Kesiapan Struktural: merepresentasikan enabling condition di tingkat ekosistem sekolah, dikompresi menjadi tiga kluster besar, yaitu ketersediaan sumber daya fisik, kapasitas kelembagaan (kepemimpinan, dukungan pengawas, alokasi anggaran), dan kerangka regulasi pendukung. Infrastruktur memadai tanpa kepemimpinan transformasional tidak akan digunakan secara bermakna, sehingga intervensi pada lapis ini harus bersifat kombinatorial, bukan sektoral.

Lapis 2 — Kesiapan Individual: menangkap kapasitas manusia sebagai pelaku utama dalam ekosistem adopsi, terdiri atas empat kluster sebagaimana Tabel berikut.

Tabel 4. Empat Kluster Kesiapan Individual

Kluster	Kompetensi Inti	Domain UNESCO Terkait
Kompetensi teknologi AI	Pemahaman prinsip, kapabilitas, dan keterbatasan AI	Domain 3
Kompetensi pedagogis AI (AI-PK + AI-CK)	Strategi mengajar dengan AI sesuai konten pelajaran	Domain 4
Etika AI	Transparansi, akuntabilitas, inklusivitas, kewajaran	Domain 2
Sikap dan efikasi diri	Kepercayaan terhadap rekomendasi AI, kemauan override algoritma	Domain 1 + Domain 5

Urutan keempat kluster mencerminkan logika scaffolding kompetensi Intelligent-TPACK, yaitu AI-TK → AI-CK → AI-PK → EK, dengan pemahaman etis ditempatkan sebagai kompetensi penutup. Implikasinya, pelatihan guru di Indonesia idealnya tidak dimulai dari kemahiran mengakses platform, melainkan dari kedalaman pemahaman prinsip etika.

Lapis 3 — Kesiapan Integratif: merupakan level tertinggi dan paling sulit dibangun karena bersifat emergent property, terdiri atas tiga kluster: pembelajaran berdiferensiasi berbasis AI sesuai Kurikulum Merdeka, komunitas belajar profesional (PLC) tematik AI, serta refleksi etis dan audit internal sekolah. Pada lapis ini, guru diarahkan menjadi kontributor desain skenario (co-design), bukan sekadar pengguna, yang memenuhi Domain 5 UNESCO pada tingkatan tertinggi (Create).

Ethical-Permeating Layer (EPL): merupakan kontribusi orisinal model yang menjembatani ketiga lapis dan memastikan setiap keputusan di-anchor pada prinsip etis AI, terdiri atas empat prinsip sebagaimana disajikan pada tabel berikut.

Tabel 5. Komponen Ethical-Permeating Layer

Prinsip Etis	Deskripsi
Transparency	Siswa dan orang tua memahami bagaimana keputusan belajar dihasilkan oleh algoritma
Accountability	Guru memiliki kapasitas dan otoritas untuk menolak atau memodifikasi rekomendasi AI
Inclusiveness	Keputusan ALT tidak mendiskriminasi siswa berdasarkan latar belakang
Fairness	Konten GenAI tidak bias gender, budaya, atau kemampuan awal; guru memiliki kompetensi evaluasi

EPL bekerja bukan sebagai checklist tambahan, melainkan mekanisme deliberatif yang harus diaktifkan setiap kali guru atau sekolah membuat keputusan adopsi ALT. Model ini memiliki keterbatasan: validasi empiris langsung belum dilakukan, bobot kausal antarlapis belum terkuantifikasi (bersifat konseptual, bukan kausal-path-analytic), dan penerapan pada daerah 3T memerlukan modul khusus untuk konteks ultra-low-resource. Validasi lebih lanjut melalui SEM atau fuzzy-set comparative analysis menjadi agenda riset prioritas.

Implikasi Praktis bagi Sekolah Menengah Atas di Indonesia

Rekomendasi praktis diselaraskan dengan UNESCO AI Competency Framework for Teachers yang menetapkan lima domain kompetensi inti dengan tingkatan progresif Acquire → Deepen → Create, dengan ringkasan sebagai berikut.

Domain 1 (Human-Centered Mindset): menegaskan bahwa pendidikan melayani kebutuhan manusia, bukan mendemonstrasikan kapabilitas algoritma. Strategi praktis meliputi verifikasi guru atas setiap rekomendasi ALT sebelum disampaikan ke siswa, menghindari otomatisasi penuh pada formative assessment, dan mendorong critical AI literacy bagi siswa.

Domain 2 (AI Ethics dan Transparansi Algoritma): mendorong kebijakan XAI di sekolah yang memenuhi transparansi, akuntabilitas, inklusivitas, dan kewajaran, mencakup seleksi platform ALT berbasis alasan pedagogis, pelatihan membaca penjelasan algoritma, protokol diskusi etis, serta kepatuhan terhadap UU Pelindungan Data Pribadi (PDP).

Domain 3 (AI Foundations): menjadi titik lemah program peningkatan kapasitas guru Indonesia yang masih bersifat tool-centric. Rekomendasi meliputi literasi AI dasar (training, inference, generative model, bias dan halusinasi), pelatihan prompt engineering (iterate, specify, verify), dan pengembangan bank prompt kolaboratif melalui PLC.

Domain 4 (AI Pedagogy dan Pembelajaran Terdiferensiasi): dipetakan terhadap lima tahapan pembelajaran berdiferensiasi sebagaimana Tabel berikut, yang menunjukkan bahwa setiap tahapan membutuhkan kombinasi domain kompetensi berbeda sehingga pelatihan perlu dirancang secara integratif.

Tabel 6. Pemetaan Strategi ALT dengan Tahapan Pembelajaran Terdiferensiasi

Tahapan Pembelajaran	Tantangan Guru	Kontribusi ALT Generasi 3	Kompetensi Guru
Diagnostik awal	Mendesain soal diagnostik variatif dan adaptif	GenAI menghasilkan branching questions	D3 + D4
Perencanaan pembelajaran	Menyusun RPP modular 3-4 level kemampuan	GenAI menghasilkan lesson plan alternatif	D2 + D4
Pelaksanaan di kelas	Membagi perhatian antarkelompok berbeda kemampuan	ITS Gen-2 mendukung jalur individual; GenAI scaffold bacaan per level	D4 + D1
Formative assessment	Menilai proses dan produk untuk umpan balik	GenAI menghasilkan rubrik dan umpan balik awal yang dimodifikasi guru	D4 + D2
Summative assessment	Memastikan integritas akademik dan kesetaraan standar	GenAI menyusun soal setara dengan variasi parameter	D2 + D5

Domain 5 (AI for Professional Learning): mendorong keberlanjutan melalui PLC spesifik AI yang berbagi prompt efektif secara berkala, repositori prompt dan lesson plan bersama, serta mekanisme mentoring teacher-to-teacher, sejalan dengan tujuan pengembangan profesional guru sebagai lifelong learning progresif (Acquire → Deepen → Create).

Implikasi Tingkat Sistem (Advokasi Kebijakan): meliputi integrasi UNESCO AI Competency Framework ke dalam Standar Kompetensi Guru Indonesia, penguatan infrastruktur di daerah 3T melalui pendekatan kolaboratif (karena hambatan utama adalah akses pendampingan teknis, bukan usia), serta penyusunan pedoman perlindungan etis untuk ALT pada siswa SMA yang menyeimbangkan personalisasi dan privasi sesuai UU PDP.

Analisis pemetaan konsistensi internal (audit matrix) antara subbab Bagian 4 dan lima domain UNESCO menunjukkan bahwa Subbab 4.8 (Implikasi Praktis) menjangkau seluruh domain secara penuh sebagai linchpin yang menerjemahkan kerangka global menjadi rekomendasi operasional, Domain 3 (AI Foundations) dan Domain 4 (AI Pedagogy) memiliki jangkauan terluas di seluruh subbab sebagai bukti orientasi rekomendasi yang condong pada aspek struktural dan pedagogis, sementara Subbab 4.1 (Infrastruktur) dan 4.3 (Sikap) masih kekurangan keterkaitan dengan Domain 2 (AI Ethics) sebagai catatan untuk penajaman lebih lanjut.

KESIMPULAN

Artikel ini telah menganalisis kesiapan sekolah dalam mengadopsi teknologi pembelajaran adaptif (ALT) dari perspektif guru melalui sintesis literatur sistematis berpedukan protokol PRISMA 2020. Hasil sintesis menegaskan bahwa kesiapan sekolah merupakan konstruk multidimensional yang mencakup lima dimensi utama: kesiapan infrastruktur teknologi dan sumber daya, kompetensi dan literasi digital guru, sikap dan penerimaan psikologis guru, kepemimpinan dan dukungan kelembagaan, serta kesiapan pedagogis dalam pembelajaran berdiferensiasi. Kelima dimensi tersebut diintegrasikan ke dalam Model Konseptual Tiga Lapis (Three-Tier Conceptual Model) dengan Ethical-

Permeating Layer yang mengangkat Intelligent-TPACK Çelik sebagai kerangka etis pemersatu. Model ini kemudian diterjemahkan menjadi rekomendasi praktis yang selaras dengan lima domain kerangka UNESCO AI Competency Framework for Teachers 2024, sehingga menghasilkan posisi diferensial yang melengkapi kerangka readiness global seperti UNESCO ICT-CFT dan OECD PISA ICT Framework.

Secara teoretis, artikel ini memberikan tiga kontribusi orisinal, yaitu klasifikasi tiga generasi ALT beserta implikasinya terhadap profil kesiapan guru yang berbeda, pengembangan Model Tiga Lapis dengan Ethical-Permeating Layer yang memposisikan dimensi etis sebagai permeating dimension Intelligent-TPACK, serta perumusan urutan scaffolding kompetensi AI-TK → AI-CK → AI-PK → EK yang lebih operasional dibandingkan tingkatan abstrak Acquire → Deepen → Create dalam kerangka UNESCO. Secara praktis, rekomendasi disusun dalam tiga tingkat: tingkat sekolah (penyusunan charter etis AI, implementasi komunitas belajar profesional tematik AI, dan integrasi ALT dalam lima tahapan pembelajaran berdiferensiasi), tingkat kabupaten (fasilitasi pelatihan TPACK adaptif berjenjang dan repositori prompt bersama lintas sekolah), serta tingkat nasional (integrasi UNESCO AI Competency Framework ke dalam Standar Kompetensi Guru Indonesia dan pengembangan pedoman perlindungan data pribadi).

Penelitian ini memiliki sejumlah keterbatasan, antara lain ketiadaan data primer lapangan dari guru SMA tertentu, validitas eksternal yang masih memerlukan pengujian ulang pada konteks lokal Indonesia, serta Model Konseptual Tiga Lapis yang masih berupa konstruksi teoretis yang menunggu validasi empiris lanjutan melalui survei berskala luas atau studi kasus longitudinal. Riset lanjutan disarankan untuk melakukan validasi empiris Model Tiga Lapis pada populasi SMA di Indonesia, menguji secara kuantitatif posisi diferensial model terhadap setiap domain UNESCO AI CF 2024, mengembangkan modul spesifik untuk konteks daerah tertinggal, terdepan, dan terluar (3T), serta menelusuri lebih dalam tentang desain Explainable AI berbasis domain pada konteks Indonesia. Dengan agenda riset tersebut, Model Konseptual Tiga Lapis diharapkan memiliki fondasi empiris yang lebih kuat dan menjadi acuan yang lebih akurat bagi pengembangan kebijakan teknologi pendidikan di Indonesia.

REFERENSI

- Al-Adwan, A. S., Meet, R. K., Anand, S., Shukla, G. P., Alsharif, R., & Dabbaghia, M. (2025). Understanding continuous use intention of technology among higher education teachers in emerging economy: Evidence from integrated TAM, TPACK, and UTAUT model. *Studies in Higher Education*, 50(3), 505–524.
- Aldemir, T., Kılınç, S., Biçer, A., Grant, P., Davis, T. J., & Sweany, N. W. (2025). Intelligent-TPACK in practice: design and evidence from a three-week teacher preparation module. *Computers and Education Open*, 9, 100306–100306. <https://doi.org/10.1016/j.caeo.2025.100306>
- Anđić, B., Šorgo, A., Stešević, D., & Lavicza, Z. (2022). The factors which influence the continuance intention of teachers in using the interactive digital identification key for trees in elementary school science education. <https://doi.org/10.29333/ejmste/12239>
- Apriantika, S. G., Pratiwi, P. H., Mariana, A., & Jatmiko, D. (2022). ANALISIS PENGATURAN PEMANFAATAN SUMBER BELAJAR DIGITAL PADA MASA PANDEMI COVID-19 LEVEL MIKRO DAN MAKRO. <https://doi.org/10.21831/dimensia.v11i1.59124>
- Apriliani, C., & Rachman, I. F. (2025). A Literature Analysis of Artificial Intelligence

- Integration in Adaptive Learning for Secondary Education. <https://doi.org/10.62238/chatra.v3i3.209>
- Castro, G. P. B., Chiappe, A., Rodriguez, D. F. B., & Sepúlveda, F. (2024). Harnessing AI for Education 4.0: Drivers of Personalized Learning. *The Electronic Journal of E-Learning*, 22(5), 1–14. <https://doi.org/10.34190/ejel.22.5.3467>
- Çelik, İ. (2022). Towards Intelligent-TPACK: An empirical study on teachers' professional knowledge to ethically integrate artificial intelligence (AI)-based tools into education. <https://doi.org/10.1016/j.chb.2022.107468>
- Çelik, S. A., Elgün, İ. Ö., & Kalelioğlu, F. (2024). Assessment of student ICT competence according to mathematics, science, and reading literacy: evidence from PISA 2018. *Large-Scale Assessments in Education*, 12(1). <https://doi.org/10.1186/s40536-024-00218-7>
- Chaipidech, P., Kajonmanee, T., Chaipah, K., Panjaburee, P., & Srisawasdi, N. (2021). Implementation of an Andragogical Teacher Professional Development Training Program for Boosting TPACK in STEM Education: The Essential Role of a Personalized Learning System. <https://doaj.org/article/537136feeee34d6ca071d69aa2f5582c>
- Chaipidech, P., Srisawasdi, N., Kajornmanee, T., & Chaipah, K. (2022). A personalized learning system-supported professional training model for teachers' TPACK development. <https://doi.org/10.1016/j.caeai.2022.100064>
- Chiu, T. K. F., Xia, Q., Zhou, X., Chai, C. S., & Cheng, M. (2022). Systematic literature review on opportunities, challenges, and future research recommendations of artificial intelligence in education. <https://doi.org/10.1016/j.caeai.2022.100118>
- Citra, C., Karimuddin, K., Nasir, S. H., Roslina, R., & Astianti, S. (2026). Exploring Teachers' Digital Readiness in Rural Indonesia. *FOSTER Journal of English Language Teaching*, 7(1), 279–289. <https://doi.org/10.24256/foster-jelt.v7i1.368>
- Contrino, M. F., Reyes-Millán, M., Vázquez-Villegas, P., & Membrillo-Hernández, J. (2024). Using an adaptive learning tool to improve student performance and satisfaction in online and face-to-face education for a more personalized approach. <https://doi.org/10.1186/s40561-024-00292-y>
- Cutumisu, M., Odell, B., & Galovan, A. M. (2020). The Relation Between ICT and Science in PISA 2015 for Bulgarian and Finnish Students. *Eurasia Journal of Mathematics Science and Technology Education*, 16(6). <https://doi.org/10.29333/ejmste/7805>
- Daher, R. F. (2025). Integrating AI literacy into teacher education: a critical perspective paper. *Discover Artificial Intelligence*, 5(1). <https://doi.org/10.1007/s44163-025-00475-7>
- Deb, J., & Sofal, F. A. (2026). TAM-TPACK Nexus: A Conceptual and Empirical Examination of Technology Acceptance Model (TAM) and Technological Pedagogical Content Knowledge (TPACK) in Teaching-Learning. <https://doi.org/10.36948/ijfmr.2026.v08i01.66913>
- Diao, J., Tang, X., Ma, X., & Ding, X. (2023). An International Perspective on the Connotation, Framework, and Development Strategies of Teacher Digital Literacy. *Journal of Educational Technology Development and Exchange*, 16(2), 66–78. <https://doi.org/10.18785/jetde.1602.04>
- Díaz, M. J. S., Daza, M. C. S., Arriazu, R., Salguero, F. L., & Durán-Rodríguez, N. (2022). “EdTech Integration Framework in Schools”: Systematic Review of the Literature. <https://doi.org/10.3389/feduc.2022.895042>
- Easouh, F. Y. J., Oweis, T. E., & Makahleh, H. A. (2024). A Bibliometric Lens on the Future: How AI continues to transform education institutions. *Human Systems Management*, 43(6), 825–844. <https://doi.org/10.1177/01672533241305172>
- Ertmer, P. A. (1999). Addressing first- and second-order barriers to change: Strategies for technology integration. <https://doi.org/10.1007/bf02299597>

- Ertmer, P. A., & Ottenbreit-Leftwich, A. (2010). Teacher Technology Change. <https://doi.org/10.1080/15391523.2010.10782551>
- Faith, L., Zaugg, T., Stolys, N., Szabo, M. E., Es.haghi, F., Badlis, C., & Olmedo, S. L. (2025). Persona, Break Glass, Name Plan, Jam (PBNJ): A New AI Workflow for Planning and Problem Solving. *AI*, 6(12), 310–310. <https://doi.org/10.3390/ai6120310>
- Farrah, K., Young, K., Tunis, M., & Zhao, L. (2019). Risk of bias tools in systematic reviews of health interventions: an analysis of PROSPERO-registered protocols. *Systematic Reviews*, 8(1), 280–280. <https://doi.org/10.1186/s13643-019-1172-8>
- Feldman-Maggor, Y., Cukurova, M., Kent, C., & Alexandron, G. (2025). The Impact of Explainable AI on Teachers' Trust and Acceptance of AI EdTech Recommendations: The Power of Domain-specific Explanations. *International Journal of Artificial Intelligence in Education*, 35(5), 2889–2922. <https://doi.org/10.1007/s40593-025-00486-6>
- Frailon, J., Ainley, J., Schulz, W., Duckworth, D., & Friedman, T. (2019). IEA International Computer and Information Literacy Study 2018 Assessment Framework. In OAPEN (The OAPEN Foundation). <https://doi.org/10.1007/978-3-030-19389-8>
- Fullan, M. G., & Stiegelbauer, S. M. (1991). The New Meaning of Educational Change. Second Edition. <https://eric.ed.gov/?id=ED479283>
- Granić, A., & Marangunić, N. (2019). Technology acceptance model in educational context: A systematic literature review. <https://doi.org/10.1111/bjet.12864>
- Hassan, K., Shazia, S., & Dragan, G. (2020). Development and adoption of an adaptive learning system: reflections and lessons learned.
- Hew, K. F., & Brush, T. (2006). Integrating technology into K-12 teaching and learning: current knowledge gaps and recommendations for future research. <https://doi.org/10.1007/s11423-006-9022-5>
- Husna, K., Fadhilah, F., Harahap, U. H. S., Fahrezi, M. A., Manik, K. S., Ardiansyah, M. Y., & Nasution, I. (2023). Transformasi Peran Guru Di Era Digital: Tantangan Dan Peluang. <https://doi.org/10.59059/perspektif.v1i4.694>
- Huynh, T.-N., Le, T.-T., Dang, B., An, B. T., Vu, C.-T., & Nguyen, A. (2025). Mindset matters: Fostering teachers' responsible AI use through professional development. *Journal of New Approaches in Educational Research*, 14(1). <https://doi.org/10.1007/s44322-025-00043-y>
- Indonesia, U. S. M., Latifah, R., Budiyanto, C. W., & Saputro, H. (2022). Digital Transformation Readiness in Education: A Review. <https://doi.org/10.18178/ijiet.2022.12.8.1688>
- Judijanto, L. (2025). A Bibliometric Analysis of Adaptive Learning in K-12 Education. <https://doi.org/10.58812/esle.v3i01.496>
- Karpouzis, K., Pantazatos, D., Taouki, J., & Meli, K. (2024). Tailoring Education with GenAI: A New Horizon in Lesson Planning. 1–10. <https://doi.org/10.1109/educon60312.2024.10578690>
- Kartimi, K., Riyanto, O. R., & Winarso, W. (2023). Digital competence of science teachers in terms of gender, length of work, and school levels of teaching. *Cypriot Journal of Educational Sciences*, 18(1), 31–42. <https://doi.org/10.18844/cjes.v18i1.7779>
- Kaushik, M., & Agrawal, D. (2021). Influence of technology readiness in adoption of e-learning. <https://doi.org/10.1108/ijem-04-2020-0216>
- Kemp, A., Palmer, E., Strelan, P., & Thompson, H. (2024). Testing a novel extended educational technology acceptance model using student attitudes towards virtual classrooms. <https://doi.org/10.1111/bjet.13440>
- Khosravi, H., Shum, S. B., Chen, G., Conati, C., Tsai, Y., Kay, J., Knight, S., Martínez-Maldonado, R., Sadiq, S., & Gašević, D. (2022). Explainable Artificial Intelligence in

- education. *Computers and Education Artificial Intelligence*, 3, 100074–100074. <https://doi.org/10.1016/j.caeai.2022.100074>
- Koutromanos, G., Μικρόπουλος, Α., Mavridis, D., & Christogiannis, C. (2023). The mobile augmented reality acceptance model for teachers and future teachers. <https://doi.org/10.1007/s10639-023-12116-6>
- Lin, C.-C., Huang, A. Y. Q., & Lu, O. H. T. (2023). Artificial intelligence in intelligent tutoring systems toward sustainable education: a systematic review. *Smart Learning Environments*, 10(1). <https://doi.org/10.1186/s40561-023-00260-y>
- Lin, R., Chu, J., Yang, L., Lou, L., Yu, H., & Yang, J. (2023). What are the determinants of rural-urban divide in teachers' digital teaching competence? Empirical evidence from a large sample. <https://doi.org/10.1057/s41599-023-01933-2>
- Mishra, P., & Koehler, M. J. (2006). Technological Pedagogical Content Knowledge: A Framework for Teacher Knowledge. <https://doi.org/10.1111/j.1467-9620.2006.00684.x>
- Mishra, P., Warr, M., & Islam, R. (2023). TPACK in the age of ChatGPT and Generative AI. *Journal of Digital Learning in Teacher Education*, 39(4), 235–251. <https://doi.org/10.1080/21532974.2023.2247480>
- Mulyanti, R. Y., Wati, L. N., Tusminurdin, U., & Soma, A. M. (2024). Determinants of teacher digital competence: Empirical evidence of vocational schools in Indonesia. *International Journal of Data and Network Science*, 8(3), 1517–1530. <https://doi.org/10.5267/j.ijdns.2024.3.014>
- Mutia, I. K., Wosal, Y. N., & Monigir, N. N. (2023). Kesiapan Guru dalam Menghadapi Tantangan Pendidikan di Bidang IPTEK. <https://doi.org/10.31004/basicedu.v7i6.6378>
- Nazaretsky, T., Ariely, M., Cukurova, M., & Alexandron, G. (2022). Teachers' trust in AI - powered educational technology and a professional development program to improve it. *British Journal of Educational Technology*, 53(4), 914–931. <https://doi.org/10.1111/bjet.13232>
- Nguyen, L. A. T., & Habók, A. (2023). Tools for assessing teacher digital literacy: a review. *Journal of Computers in Education*, 11(1), 305–346. <https://doi.org/10.1007/s40692-022-00257-5>
- Nualprasert, B., Punkhoom, W., & Jehma, H. (2025). Reframing Digital Literacy in ELT: Integrating SAMR, AI-TPACK, and Connectivism in the Global South. *International Journal of Interactive Mobile Technologies (iJIM)*, 19(20), 55–68. <https://doi.org/10.3991/ijim.v19i20.56333>
- Page, M. J., McKenzie, J. E., Bossuyt, P. M., Boutron, I., Hoffmann, T., Mulrow, C. D., Shamseer, L., Tetzlaff, J., Akl, E. A., Brennan, S., Chou, R., Glanville, J., Grimshaw, J., Hróbjartsson, A., Lalu, M. M., Li, T., Loder, E., Mayo-Wilson, E., McDonald, S., ... Moher, D. (2021a). The PRISMA 2020 statement: An updated guideline for reporting systematic reviews. *PLoS Medicine*, 18(3). <https://doi.org/10.1371/journal.pmed.1003583>
- Page, M. J., McKenzie, J. E., Bossuyt, P. M., Boutron, I., Hoffmann, T., Mulrow, C. D., Shamseer, L., Tetzlaff, J., Akl, E. A., Brennan, S., Chou, R., Glanville, J., Grimshaw, J., Hróbjartsson, A., Lalu, M. M., Li, T., Loder, E., Mayo-Wilson, E., McDonald, S., ... Moher, D. (2021b). The PRISMA 2020 statement: an updated guideline for reporting systematic reviews. *BMJ*, 372. <https://doi.org/10.1136/bmj.n71>
- Page, M. J., McKenzie, J. E., Bossuyt, P. M., Boutron, I., Hoffmann, T., Mulrow, C. D., Shamseer, L., Tetzlaff, J., Akl, E. A., Brennan, S., Chou, R., Glanville, J., Grimshaw, J., Hróbjartsson, A., Lalu, M. M., Li, T., Loder, E., Mayo-Wilson, E., McDonald, S., ... Moher, D. (2021c). The PRISMA 2020 statement: an updated guideline for reporting systematic reviews. *Systematic Reviews*, 10(1), 89–89. <https://doi.org/10.1186/s13643-021-01626-4>

- Pane, J. F., Steiner, E. D., Baird, M., & Hamilton, L. S. (2015). Continued Progress: Promising Evidence on Personalized Learning. <https://doi.org/10.7249/rr1365>
- Pek, L. S., Ahmad, N. A., Zulkifli, F., Yob, F. S. C., Ependi, U., & Cruz, G. R. C. (2026). Artificial intelligence in education: a bibliometric analysis of emerging trends. *International Journal of Evaluation and Research in Education (IJERE)*, 15(1), 649–649. <https://doi.org/10.11591/ijere.v15i1.34428>
- Petko, D., Prasse, D., & Cantieni, A. (2018). The Interplay of School Readiness and Teacher Readiness for Educational Technology Integration: A Structural Equation Model. <https://doi.org/10.1080/07380569.2018.1428007>
- Phuong, T. T. T., Thi-Nga, H., Hăng, N. T. T., Thái, D. T. M., Linh, H. T. K., Nhung, N. Đ. H., Giang, N. Đ. H., & Dinh, N. V. (2024). The Influence of Gender and Training Sector on the ICT Competency of Pre-Service Teachers in Vietnam: Using the UNESCO ICT Competency Framework. *International Journal of Learning Teaching and Educational Research*, 23(3), 411–427. <https://doi.org/10.26803/ijlter.23.3.20>
- Rethlefsen, M. L., Kirtley, S., Waffenschmidt, S., Ayala, A. P., Moher, D., Page, M. J., Koffel, J., & Group, P.-S. (2021). PRISMA-S: an extension to the PRISMA statement for reporting literature searches in systematic reviews. *Journal of the Medical Library Association JMLA*, 109(2), 174–200. <https://doi.org/10.5195/jmla.2021.962>
- Rethlefsen, M. L., Kirtley, S., Waffenschmidt, S., Ayala, A. P., Moher, D., Page, M. J., Koffel, J., Group, P.-S., Blunt, H. B., Brigham, T., Chang, S., Clark, J., Conway, A., Couban, R., Kock, S. de, Farrah, K., Fehrmann, P., Foster, M., Fowler, S. A., ... Young, S. (2021). PRISMA-S: an extension to the PRISMA Statement for Reporting Literature Searches in Systematic Reviews. *Systematic Reviews*, 10(1), 39–39. <https://doi.org/10.1186/s13643-020-01542-z>
- Rikizaputra, R., Festiyed, F., Asrizal, A., & Diliarosta, S. (2021). META-ANALYSIS: THE EFFECT OF THE SCIENCE, TECHNOLOGY, AND SOCIETY LEARNING MODEL ON STUDENTS HIGH ORDER THINKING SKILLS. <https://doi.org/10.24114/jpp.v9i1.23072>
- Saharuddin, M. H., Nasir, M. K. M., & Mahmud, M. S. (2025). Exploring Teachers' Technological Pedagogical Content Knowledge in Utilising Artificial Intelligence (AI) for Teaching. <https://doi.org/10.26803/ijlter.24.1.7>
- Saimon, M., Mtenzi, F., Lavicza, Z., Fenyvesi, K., Arnold, M., & Diego-Mantecón, J. M. (2024). Applying the 6E learning by design model to support student teachers to integrate artificial intelligence applications in their classroom. *Education and Information Technologies*, 29(17), 23937–23954. <https://doi.org/10.1007/s10639-024-12795-9>
- Scherer, R., Siddiq, F., & Tondeur, J. (2018). The technology acceptance model (TAM): A meta-analytic structural equation modeling approach to explaining teachers' adoption of digital technology in education. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2018.09.009>
- Sholihah, H. I. N. S., Hasna Inas Nashofa. (2025). Transformasi Sistem Pendidikan Indonesia di Era Digital: Tantangan dan Peluang Integrasi Teknologi. <https://doi.org/10.5281/zenodo.17893532>
- Simon, P. D., & Zeng, L. M. (2024). Behind the Scenes of Adaptive Learning: A Scoping Review of Teachers' Perspectives on the Use of Adaptive Learning Technologies. <https://doi.org/10.3390/educsci14121413>
- Smith, K. (2018). Perceptions of Preservice Teachers about Adaptive Learning Programs in K-8 Mathematics Education. <https://doi.org/10.30935/cet.414780>
- Strielkowski, W., Гребенникова, В., Lisovskiy, A., Rakhimova, G., & Vasileva, T. (2024). AI-driven adaptive learning for sustainable educational transformation. <https://doi.org/10.1002/sd.3221>
- Sui, C., Yen, M.-H., & Chang, C. (2024). Teachers' perceptions of teaching science with

- technology-enhanced self-regulated learning strategies through the DECODE model. <https://doi.org/10.1007/s10639-024-12715-x>
- Syafriyadin, S., Suherdi, D., Nadya, N. L., Harahap, A., & Astrid, A. (2022). Teacher readiness and challenges in creating learner autonomy in ICT-based English learning activities. <https://doi.org/10.17509/ijal.v11i3.34667>
- Tondeur, J., Braak, J. van, Ertmer, P. A., & Ottenbreit-Leftwich, A. (2016). Understanding the relationship between teachers' pedagogical beliefs and technology use in education: a systematic review of qualitative evidence. <https://doi.org/10.1007/s11423-016-9481-2>
- VanLehn, K. (2011). The Relative Effectiveness of Human Tutoring, Intelligent Tutoring Systems, and Other Tutoring Systems. <https://doi.org/10.1080/00461520.2011.611369>
- Viswanathan, M., Patnode, C. D., Berkman, N. D., Bass, E. B., Chang, S., Hartling, L., Murad, M. H., Treadwell, J., & Kane, R. L. (2017). Assessing the Risk of Bias of Individual Studies in Systematic Reviews of Health Care Interventions. <https://doi.org/10.23970/ahrqepcmethguide2>
- Walter, Y. (2024). Embracing the future of Artificial Intelligence in the classroom: the relevance of AI literacy, prompt engineering, and critical thinking in modern education. *International Journal of Educational Technology in Higher Education*, 21(1). <https://doi.org/10.1186/s41239-024-00448-3>
- Wang, D., Bian, C., & Chen, G. (2024). Using explainable AI to unravel classroom dialogue analysis: Effects of explanations on teachers' trust, technology acceptance and cognitive load. *British Journal of Educational Technology*, 55(6), 2530–2556. <https://doi.org/10.1111/bjet.13466>
- Yue, M., Jong, M. S., & Ng, D. T. K. (2024). Understanding K–12 teachers' technological pedagogical content knowledge readiness and attitudes toward artificial intelligence education. <https://doi.org/10.1007/s10639-024-12621-2>