

Kebijakan Pendidikan di Era Revolusi Industri 4.0: Analisis Literatur terhadap Integrasi Teknologi dalam Kurikulum

Rilo Pambudi Triantoro, Muhammad Febri Mawardi, Putri Medina Heru Arnafama, Ahmad Suriansyah, Ratna Purwanti

¹Magister Administrasi Pendidikan, Pascasarjana, Universitas Lambung Mangkurat, Indonesia

*Corresponding Author: ptriimedina@gmail.com

ABSTRACT

This study aims to analyze education policies in the industry 4.0 era through a literature review focused on technology integration within the curriculum, emphasizing the enhancement of educators' digital competencies under Indonesia's Merdeka Belajar policy. A purposive sampling technique selected dozens of national and international scholarly articles and policy documents related to Technological Pedagogical Content Knowledge (TPACK). Data were collected via document analysis and examined using qualitative content analysis to identify themes on training needs, pedagogical readiness, policy adaptivity, and access equity. Results indicate that mere provision of digital devices is insufficient; sustained training, pedagogical preparedness of teachers, and flexible policies are essential. Current TPACK implementations predominantly concentrate on technology rather than achieving a balanced integration of pedagogy and content. Additional challenges identified include regional disparities in technology access and the prevalence of short-term descriptive studies. The study concludes that a holistic approach involves context-driven training design, clear policy support, and collaboration among schools, government, and industry. It recommends context-specific TPACK interventions and longitudinal studies to evaluate long-term impact.

Keywords: Industry 4.0, Merdeka Belajar, TPACK, technology integration.

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kebijakan pendidikan di era Revolusi Industri 4.0 melalui studi literatur yang berfokus pada integrasi teknologi dalam kurikulum, dengan penekanan pada penguatan kompetensi digital pendidik dalam kerangka kebijakan *Merdeka Belajar* di Indonesia. Teknik *purposive sampling* digunakan untuk memilih puluhan artikel ilmiah dan dokumen kebijakan baik nasional maupun internasional yang berkaitan dengan Technological Pedagogical Content Knowledge (TPACK). Data dikumpulkan melalui analisis dokumen dan dianalisis menggunakan teknik analisis isi kualitatif untuk mengidentifikasi tema kebutuhan pelatihan, kesiapan pedagogis, adaptasi kebijakan, dan pemerataan akses. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penyediaan perangkat digital saja tidak cukup; diperlukan pelatihan yang berkelanjutan, kesiapan pedagogis guru, serta kebijakan yang fleksibel. Implementasi TPACK saat ini masih cenderung berfokus pada aspek teknologi dan mengabaikan keseimbangan antara pedagogi dan konten. Tantangan lain yang teridentifikasi meliputi kesenjangan akses teknologi antar daerah serta dominasi studi deskriptif jangka pendek. Penelitian ini menyimpulkan bahwa integrasi teknologi dalam pendidikan memerlukan pendekatan holistik yang melibatkan desain pelatihan berbasis konteks, dukungan kebijakan yang jelas, dan kolaborasi antara sekolah, pemerintah, serta dunia industri.

Article History:

Received 2025-05-21

Accepted 2025-07-01

Kata Kunci: Industri 4.0, integrasi teknologi, Merdeka Belajar, TPACK

1. PENDAHULUAN

Di tengah Revolusi Industri 4.0, pentingnya mengintegrasikan teknologi ke dalam kurikulum pendidikan menjadi kebutuhan mendesak bagi masyarakat global. Perkembangan teknologi yang cepat telah mengubah cara siswa belajar dan berinteraksi dengan informasi, sehingga menuntut sistem pendidikan untuk beradaptasi dan terus berinovasi (Liriwati, 2023). Integrasi teknologi tidak hanya menjadi sarana pendukung, tetapi juga menjadi kunci dalam meningkatkan daya saing siswa di era digital. Dalam bidang pendidikan, integrasi teknologi telah menjadi salah satu indikator penting dalam menciptakan lingkungan belajar yang inovatif, dinamis, dan relevan dengan perkembangan zaman (Hakim & Abidin, 2024). Platform Merdeka Mengajar, misalnya, menjadi salah satu bentuk nyata integrasi teknologi yang mendorong transformasi pendidikan, khususnya dalam pengembangan guru dan pendidikan vokasi. Kebutuhan integrasi ini semakin mendesak setelah diperkenalkannya kebijakan *Merdeka Belajar* oleh Kemendikbud pada tahun 2019 yang menekankan fleksibilitas dan kemandirian dalam pembelajaran berbasis teknologi (Hutasoit et al., 2025; Dewi et al., 2024). Namun, Widodo et al. (2023) mengingatkan bahwa tantangan radikal seperti resistensi perubahan dan kesiapan infrastruktur yang tidak merata dapat menyebabkan kegagalan integrasi teknologi jika tidak ditangani dengan tepat. Selain itu, integrasi teknologi juga memerlukan manajemen pembelajaran yang kolaboratif untuk memastikan keberhasilan implementasi kurikulum (Dewi et al., 2024) dan memperhatikan kebutuhan diferensiasi pembelajaran di kelas yang beragam (Rohmah & Andriansyah, 2024). Dengan demikian, integrasi teknologi dalam pendidikan saat ini bukan lagi pilihan, melainkan kebutuhan strategis bagi masyarakat global dalam menghadapi tantangan Revolusi Industri 4.0.

Meskipun berbagai kebijakan telah mendorong integrasi teknologi dalam pendidikan, implementasinya masih menghadapi tantangan yang signifikan di lapangan. Salah satu kendala utama adalah rendahnya kesiapan guru dalam memanfaatkan teknologi secara efektif, yang diperburuk oleh terbatasnya pelatihan berkelanjutan yang mereka terima (Majdji & Hariyadi, 2025). Selain itu, pengelolaan infrastruktur dan sumber daya manusia yang belum optimal juga menjadi hambatan dalam penerapan pembelajaran berbasis teknologi (Mulyanti, 2025). Kesenjangan akses teknologi antar daerah, terutama di sekolah dasar, semakin memperlebar ketimpangan dalam kualitas pendidikan digital (Maufiroh et al., 2025). Dalam konteks ini, Choirudin dan Saman (2025) menekankan pentingnya manajemen inovasi pendidikan yang terstruktur untuk memastikan bahwa integrasi teknologi dapat berjalan secara efektif dan merata. Tanpa penguatan kapasitas guru, perbaikan infrastruktur, dan pengelolaan inovasi yang tepat, upaya integrasi teknologi berpotensi tidak memberikan dampak yang maksimal bagi peningkatan mutu pendidikan.

Berbagai studi sebelumnya telah menyoroti pentingnya integrasi teknologi dalam pendidikan sebagai kunci untuk meningkatkan kualitas pembelajaran. Model TPACK (Technological Pedagogical Content Knowledge) menjadi kerangka yang banyak digunakan untuk memahami bagaimana pendidik dapat mengintegrasikan teknologi secara efektif dalam praktik pengajaran (Cabero & Barroso, 2016; Rodríguez Moreno et al., 2019). Penelitian Jang dan Tsai

(2013) menunjukkan bahwa penerapan TPACK dalam konteks sekolah menengah memerlukan pemahaman yang kontekstual agar integrasi teknologi benar-benar mendukung pembelajaran. Lye (2013) juga mengidentifikasi bahwa meskipun penerapan TPACK di institusi pendidikan tinggi swasta di Malaysia menawarkan peluang, tantangan signifikan tetap ada dalam hal kesiapan sumber daya dan dukungan manajemen. Selain itu, validitas dan pengukuran dimensi teknologi dalam model TPACK telah diuji dan dikembangkan untuk memastikan penerapan yang lebih akurat (Scherer et al., 2017). Penelitian terbaru seperti yang dilakukan oleh Angraini et al. (2022) menegaskan bahwa penerapan TPACK dengan strategi pengajaran yang tepat mampu meningkatkan kreativitas siswa dalam pembelajaran genetika. Sementara itu, Álvarez-Otero dan De Lázaro y Torres (2018) menyoroti bagaimana TPACK dapat dimanfaatkan dalam mendukung pendidikan berkelanjutan dengan integrasi infrastruktur data spasial. Temuan-temuan tersebut memperkuat pemahaman bahwa integrasi teknologi dalam pendidikan bukan hanya sebuah kebutuhan, tetapi juga telah menjadi fokus penting dalam berbagai penelitian global.

Namun, dalam praktiknya, masih terdapat perdebatan mengenai apakah integrasi teknologi dalam pendidikan telah dilakukan secara seimbang atau justru terlalu berfokus pada penyediaan perangkat tanpa memperhatikan aspek pedagogis dan konten. Beberapa studi menunjukkan bahwa penerapan teknologi cenderung lebih menitikberatkan pada pemanfaatan alat dan sistem manajemen pembelajaran digital tanpa disertai penguatan strategi pedagogis yang memadai (Zulham et al., 2023; Wahyudi & Fauziati, 2025). Penelitian Nilna (2025) mengungkapkan bahwa dalam pengelolaan digitalisasi pembelajaran, sering kali fokus diarahkan pada pengadaan media digital, sementara perencanaan pedagogis masih diabaikan. Selain itu, terdapat kekhawatiran bahwa aksesibilitas yang belum merata, khususnya bagi siswa berkebutuhan khusus, turut memperlebar kesenjangan pemanfaatan teknologi dalam pembelajaran (Mawardi, 2025). Sukaesih et al. (2017) juga menemukan bahwa calon guru masih memiliki keterbatasan dalam menguasai keterpaduan teknologi, pedagogi, dan konten secara holistik. Kontroversi ini mempertegas bahwa keberhasilan integrasi teknologi tidak cukup hanya dengan kesiapan infrastruktur, melainkan juga membutuhkan kesadaran penuh akan pentingnya keseimbangan antara aspek teknis, pedagogis, dan substansi materi pembelajaran.

Meskipun berbagai studi telah membahas integrasi teknologi dalam pendidikan, sebagian besar penelitian sebelumnya belum sepenuhnya menyoroti pentingnya keseimbangan antara penyediaan perangkat teknologi dengan penguatan aspek pedagogis dan konten. Banyak penelitian cenderung terfokus pada aspek teknis, seperti penggunaan perangkat dan sistem digital, namun kurang mengkaji bagaimana integrasi tersebut mempengaruhi strategi pembelajaran yang efektif. Selain itu, beberapa studi belum memberikan perhatian yang memadai terhadap tantangan aksesibilitas dan kesenjangan penerapan teknologi di berbagai konteks pendidikan, khususnya bagi siswa dengan kebutuhan khusus. Keterbatasan ini menunjukkan bahwa masih diperlukan penelitian yang secara komprehensif mengkaji integrasi teknologi dengan mempertimbangkan aspek pedagogis, konten, dan pemerataan akses secara simultan.

Berdasarkan kesenjangan tersebut, penelitian ini berfokus untuk menganalisis kebijakan pendidikan di era Revolusi Industri 4.0 melalui studi literatur, dengan tujuan menyelidiki

bagaimana kebijakan pendidikan dapat disesuaikan agar integrasi teknologi dalam kurikulum dapat berjalan secara efektif dan berkelanjutan. Studi literatur dengan teknik purposive sampling untuk mengkaji berbagai artikel ilmiah dan dokumen kebijakan yang relevan. Data dianalisis menggunakan pendekatan analisis isi untuk mengidentifikasi tema-tema penting terkait kebijakan dan integrasi teknologi. Sehingga dapat memberikan kontribusi terhadap pengembangan kebijakan pendidikan yang adaptif dan berbasis kebutuhan lapangan dalam menghadapi tantangan integrasi teknologi di era digital. Ketertarikan peneliti terhadap topik ini didorong oleh kepedulian terhadap kesenjangan penerapan teknologi dalam pendidikan serta pentingnya kebijakan yang lebih responsif terhadap perubahan zaman.

Meskipun penelitian ini memiliki keterbatasan pada ruang lingkup yang terbatas pada analisis dokumen dan tidak mencakup data lapangan atau pengujian langsung di sekolah, penelitian ini tetap memberikan landasan teoretis yang kuat untuk penelitian lanjutan yang lebih komprehensif. Secara struktural, artikel ini diawali dengan pendahuluan yang menjelaskan latar belakang dan pentingnya topik, diikuti dengan tinjauan pustaka, metode penelitian, hasil dan pembahasan, serta diakhiri dengan kesimpulan dan rekomendasi. TPACK merujuk pada Technological Pedagogical Content Knowledge, yaitu kerangka integrasi yang menyeimbangkan pengetahuan teknologi, pedagogi, dan konten. Merdeka Belajar adalah kebijakan pendidikan nasional yang memberikan otonomi kepada satuan pendidikan dan pendidik untuk mengembangkan pembelajaran yang fleksibel dan inovatif.

2. METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan pendekatan studi pustaka (*library research*), sebuah metode yang memungkinkan pemetaan dan analisis mendalam terhadap literatur terkait tanpa melibatkan pengumpulan data lapangan. Menurut Levy & Ellis (2006), tinjauan pustaka harus "methodologically analyze and synthesize quality literature on a topic," yang selanjutnya menyediakan dasar metodologis yang kuat bagi penelitian ini. Adapun LisEduNetwork menjelaskan bahwa *literature review* adalah "a critical and comprehensive examination of existing scholarship," bertujuan untuk memetakan *state-of-the-art*, mengidentifikasi pola serta kesenjangan pengetahuan

Penelitian ini bersifat deskriptif kualitatif berdasarkan studi pustaka. Sebagai desain yang umum digunakan untuk studi literatur, desain ini memungkinkan peneliti menyusun gambaran sistematis tentang kebijakan pendidikan dan integrasi teknologi di era Revolusi Industri 4.0. Sumber yang digunakan meliputi: Artikel jurnal ilmiah (nasional dan internasional), Dokumen kebijakan resmi (misalnya kebijakan Merdeka Belajar), Prosiding seminar, laporan, dan buku relevan.

Pengambilan sampel dalam penelitian ini menggunakan teknik purposive sampling, yaitu pemilihan sumber literatur secara sengaja berdasarkan kriteria tertentu yang relevan dengan fokus penelitian. Adapun kriteria inklusi yang digunakan meliputi: sumber yang membahas integrasi teknologi dan kebijakan pendidikan, diterbitkan dalam rentang waktu 2020 hingga 2025,

serta dipublikasikan di jurnal bereputasi atau berasal dari dokumen kebijakan resmi. Proses pengumpulan data dilakukan secara sistematis melalui beberapa tahap. Pertama, peneliti melakukan penelusuran literatur pada database ilmiah terkemuka dan situs resmi pemerintah yang memuat dokumen kebijakan terkait pendidikan. Kedua, seleksi literatur dilakukan dengan mencocokkan sumber-sumber yang ditemukan terhadap kriteria inklusi yang telah ditetapkan. Ketiga, semua literatur yang terpilih dikatalogisasi untuk memudahkan pengorganisasian dan analisis data.

Teknik analisis data yang digunakan adalah content analysis atau analisis isi, yang dilaksanakan secara sistematis melalui empat tahapan. Tahap pertama adalah reduksi data, yaitu membaca secara menyeluruh dan menandai informasi penting yang berkaitan dengan kebijakan pendidikan dan integrasi teknologi. Tahap kedua adalah proses coding, yaitu memberikan label atau istilah untuk tema-tema utama seperti pedagogi, infrastruktur, dan kebijakan. Tahap ketiga adalah kategorisasi data, di mana data yang telah dikoding dikelompokkan berdasarkan kesamaan tema. Tahap terakhir adalah penarikan simpulan yang mencakup temuan utama, kesenjangan yang ditemukan, dan rekomendasi kebijakan yang dapat diusulkan.

Untuk memastikan validitas data, penelitian ini menerapkan triangulasi sumber, yaitu dengan membandingkan hasil analisis dari berbagai jenis dokumen dan referensi. Selain itu, peneliti juga melibatkan diskusi dengan rekan sejawat (peer review) guna meminimalisasi bias subjektif dan meningkatkan keakuratan interpretasi hasil penelitian. Mengacu pada panduan Booth (2002) dan Snyder (2019), prosedur penelitian dijalankan sebagai berikut: Definisi masalah dan tujuan penelitian, Penelusuran literature, Seleksi dan klasifikasi material, Analisis isi secara sistematis, Penyusunan hasil dan diskusi, Penyusunan kesimpulan dan rekomendasi.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Penelitian

Berdasarkan hasil analisis isi terhadap berbagai artikel yang terpilih, penelitian ini menemukan bahwa implementasi *Technological Pedagogical Content Knowledge* (TPACK) dalam pendidikan menunjukkan perkembangan yang signifikan, baik pada tingkat guru prajabatan maupun guru yang sudah mengajar. Namun, studi-studi tersebut juga memperlihatkan adanya variasi fokus, pendekatan, dan konteks penerapan yang berdampak pada efektivitas integrasi teknologi dalam pembelajaran.

Tabel 1. Analisis Literatur tentang Implementasi TPACK dalam Pendidikan

No	Penulis dan Tahun	Fokus Penelitian	Temuan Utama	Implikasi
1	Oved & Alt (2025)	Kesiapan guru dalam adopsi AI berbasis TPACK	TPACK menjadi prediktor penting dalam kesiapan guru mengadopsi AI, namun masih ada resistensi dalam penerapan teknologi baru.	Perlu penguatan pelatihan TPACK yang spesifik pada AI.

2	Zhao & Wang (2024)	Pengembangan model TPACK kuantitatif	Pengukuran TPACK dapat dilakukan dengan model grafis, tetapi implementasi pedagogis masih kurang dieksplorasi.	Perlu integrasi antara model pengukuran dan praktik pembelajaran.
3	Yue et al. (2024)	Kesiapan TPACK guru K-12 dalam AI	Sikap positif guru terhadap AI tidak selalu sejalan dengan kesiapan pedagogis mereka.	Pelatihan harus menghubungkan sikap, keterampilan teknis, dan strategi pedagogis.
4	Çağlar & Çalik (2024)	TPACK guru prajabatan pada materi sains	Guru prajabatan memiliki potensi penguasaan TPACK yang baik namun implementasi di kelas masih rendah.	Diperlukan simulasi pembelajaran berbasis TPACK selama pendidikan prajabatan.
5	Yildiz & Arpaci (2024)	Niat penggunaan GeoGebra guru matematika	Niat guru dipengaruhi oleh TPACK, namun masih fokus pada aspek teknologi.	Penguatan pemahaman konten matematika tetap diperlukan.
6	Alghamdi (2023)	Penggunaan TPACK dalam pengajaran pengucapan	Integrasi teknologi membantu pengajaran pengucapan, tetapi pemahaman pedagogis masih lemah.	Pelatihan harus lebih menekankan integrasi pedagogi.
7	Joshpine & Albina (2023)	Pengaruh kesadaran metakognitif terhadap TPACK	Kesadaran metakognitif memperkuat penguasaan TPACK.	Penguatan refleksi dan kesadaran diri dalam pelatihan guru.
8	Habiyaremye et al. (2024)	Pengembangan TPACK melalui perencanaan pembelajaran	Perencanaan yang baik memperkuat TPACK dan penguasaan materi matematika.	Lesson planning berbasis TPACK perlu dikembangkan.
9	Kim & Yoon (2024)	Pengembangan TPACK dengan VR untuk astronomi	TPACK dapat berkembang melalui pembuatan dan penerapan materi VR.	Perlu penguatan keterampilan desain media berbasis teknologi.
10	Jammeh et al. (2024)	TPACK dalam smart classroom	Penggunaan TPACK dalam smart classroom meningkatkan performa siswa.	Diperlukan pelatihan adaptasi teknologi smart classroom.
11	Ga et al. (2025)	TPACK dalam perencanaan dan refleksi pembelajaran	Refleksi pasca pembelajaran memperkuat penguasaan TPACK.	Refleksi terstruktur berbasis TPACK harus menjadi bagian kurikulum pendidikan guru.

12	Su et al. (2023)	Pengembangan TPACK melalui komunitas belajar	Pembelajaran kolaboratif mempercepat penguasaan TPACK di tingkat perguruan tinggi.	Profesional learning community harus difasilitasi secara berkelanjutan.
----	------------------	--	--	---

Beberapa studi menunjukkan bahwa guru secara umum memiliki sikap positif terhadap pemanfaatan teknologi dalam pembelajaran, khususnya dalam konteks penerapan alat berbasis kecerdasan buatan dan teknologi digital modern. Yue et al. (2024) mengungkapkan bahwa guru K–12 menunjukkan antusiasme dan penerimaan yang tinggi terhadap pendidikan berbasis kecerdasan buatan. Namun demikian, sikap positif ini tidak selalu disertai dengan kesiapan pedagogis yang memadai. Guru yang terbuka terhadap teknologi kerap kali belum memiliki kompetensi untuk mengintegrasikan teknologi secara efektif dalam strategi pembelajaran dan pengelolaan kelas. Hal serupa disampaikan oleh Oved dan Alt (2025) yang menegaskan bahwa penguasaan TPACK merupakan faktor kunci dalam kesiapan guru mengadopsi teknologi berbasis AI dalam pembelajaran.

Kesenjangan antara sikap positif terhadap teknologi dan keterampilan pedagogis ini mengindikasikan perlunya pengembangan program pelatihan yang tidak hanya menekankan pada aspek teknis, tetapi juga memberikan pemahaman komprehensif mengenai integrasi teknologi dalam konteks pedagogis. Guru perlu dilatih untuk mendesain pembelajaran yang kontekstual, mengelola interaksi digital secara efektif, dan memfasilitasi pembelajaran yang berpusat pada siswa. Oleh karena itu, pengembangan TPACK harus dilaksanakan dalam kerangka pelatihan yang menyeimbangkan antara penguasaan alat digital dengan strategi pedagogis serta pemahaman terhadap konten, agar transformasi teknologi benar-benar memberikan dampak signifikan terhadap proses dan hasil belajar siswa.

Namun, sebagian besar studi yang meneliti integrasi TPACK dalam pendidikan masih cenderung menitikberatkan pada aspek penguasaan teknis teknologi. Zhao dan Wang (2024) mengembangkan model kuantitatif berbasis grafik untuk mengukur tingkat penguasaan teknologi oleh guru, yang menekankan akurasi prosedural. Sementara itu, Yildiz dan Arpacı (2024) menunjukkan bahwa niat guru prajabatan menggunakan GeoGebra dalam pembelajaran lebih dipengaruhi oleh kemudahan penggunaan dan efisiensi alat, tanpa mengeksplorasi dampak pedagogisnya. Kecenderungan ini memperlihatkan adanya kesenjangan dalam literatur terkait pemahaman mendalam mengenai bagaimana teknologi yang dikuasai guru diterjemahkan menjadi strategi pembelajaran yang inovatif, adaptif, dan efektif.

Sejumlah penelitian lain menekankan pentingnya pengembangan TPACK melalui pelatihan yang kontekstual dan praktis. Pelatihan yang hanya bersifat teknis terbukti tidak cukup. Studi oleh Çağlar dan Çalik (2024) menunjukkan bahwa pelatihan berbasis simulasi dalam konteks pembelajaran IPA sekolah dasar secara signifikan meningkatkan pemahaman dan penerapan TPACK guru prajabatan. Habiyaremye et al. (2024) menambahkan bahwa pelatihan berbasis perencanaan pembelajaran membantu guru memadukan teknologi dengan pedagogi dan konten secara simultan. Sementara itu, Ga et al. (2025) menyoroti pentingnya refleksi terstruktur sebagai

bagian dari pelatihan guru, yang membantu guru memahami dan mengevaluasi efektivitas penerapan TPACK secara berkelanjutan. Pendekatan-pendekatan ini menunjukkan bahwa pelatihan efektif harus berbasis pengalaman nyata di kelas.

Selain pelatihan formal, dukungan sosial dan lingkungan kolaboratif seperti komunitas belajar profesional juga memainkan peran krusial dalam pengembangan TPACK. Su et al. (2023) menunjukkan bahwa keterlibatan dalam komunitas ini membantu dosen dan guru meningkatkan kompetensi TPACK melalui diskusi reflektif dan pembelajaran berbasis praktik. Komunitas belajar profesional tidak hanya meningkatkan aspek teknis, tetapi juga memperkuat dimensi pedagogis dan pemahaman konten. Lebih jauh, teknologi inovatif seperti Virtual Reality (Kim & Yoon, 2024) dan smart classroom (Jammeh et al., 2024) juga berkontribusi dalam meningkatkan integrasi TPACK. Ketika guru dilibatkan secara langsung dalam penggunaan teknologi canggih ini, mereka tidak hanya terampil secara teknis, tetapi juga mampu mengadaptasikan strategi pedagogis secara harmonis dengan teknologi dan konten. Dengan demikian, strategi pengembangan profesional guru harus mencakup pelatihan berbasis praktik, komunitas kolaboratif, serta integrasi teknologi inovatif agar tercipta pembelajaran yang adaptif dan bermakna di era digital.

Tabel 2. Pola Temuan Penting Penelitian

No	Fokus Temuan	Penjelasan	Referensi
1	Keterkaitan TPACK dan Sikap Guru	Sikap positif guru terhadap teknologi belum sepenuhnya didukung kesiapan pedagogis yang optimal.	Yue et al. (2024); Oved & Alt (2025)
2	Dominasi Fokus Teknologi	Penelitian banyak menekankan penguasaan alat digital, namun kurang mengkaji dampak pada pembelajaran.	Zhao & Wang (2024); Yildiz & Arpaci (2024) Çağlar & Çalik (2024);
3	Kebutuhan Pelatihan Kontekstual	Pelatihan berbasis simulasi, lesson planning, dan refleksi terbukti efektif meningkatkan TPACK.	Habiyaremye et al. (2024); Ga et al. (2025)
4	Peran Komunitas Belajar	Komunitas belajar profesional berkontribusi dalam pengembangan TPACK berkelanjutan.	Su et al. (2023)
5	Peluang Inovasi Teknologi Spesifik	Penguasaan TPACK meningkat melalui integrasi teknologi inovatif seperti VR dan smart classroom.	Kim & Yoon (2024); Jammeh et al. (2024)

Pembahasan

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis implementasi Technological Pedagogical Content Knowledge (TPACK) dalam pendidikan berbasis hasil studi literatur. Berdasarkan hasil analisis, penelitian ini menemukan bahwa meskipun sikap guru terhadap teknologi umumnya positif, kesiapan pedagogis mereka masih belum optimal. Selain itu, sebagian besar studi lebih menekankan pada penguasaan aspek teknis daripada pada integrasi pedagogis yang efektif. Temuan lainnya menunjukkan bahwa pelatihan berbasis simulasi, perencanaan pembelajaran, dan refleksi terstruktur terbukti efektif dalam meningkatkan penguasaan TPACK secara holistik.

Komunitas belajar profesional dan penerapan teknologi inovatif seperti Virtual Reality (VR) dan smart classroom juga terbukti berkontribusi signifikan dalam memperkuat TPACK guru.

Temuan penelitian ini konsisten dengan hasil studi terdahulu yang menegaskan pentingnya penguasaan Technological Pedagogical Content Knowledge (TPACK) dalam mendukung efektivitas integrasi teknologi dalam pendidikan. Ferdig (2006) menekankan bahwa penilaian terhadap penerapan teknologi tidak dapat dipisahkan dari kemampuan guru dalam memadukan teknologi, pedagogi, dan konten. Temuan ini sejalan dengan hasil penelitian Yue et al. (2024) dan Oved dan Alt (2025) yang menunjukkan bahwa meskipun sikap guru terhadap teknologi positif, penguasaan pedagogis dan kesiapan praktis mereka belum optimal. Ferdig (2006) menggarisbawahi bahwa penguasaan teknis semata tidak menjamin efektivitas pembelajaran berbasis teknologi, melainkan harus terintegrasi dengan strategi pedagogis yang tepat.

Lebih lanjut, penelitian Angeli dan Valanides (2009) mengingatkan tentang pentingnya kejelasan epistemologis dan metodologis dalam pengembangan TPACK. Temuan ini menguatkan hasil penelitian Zhao dan Wang (2024) serta Yildiz dan Arpacı (2024) yang menunjukkan bahwa sebagian besar penelitian TPACK masih didominasi oleh pengukuran aspek teknis, namun kurang mengeksplorasi keterkaitan langsung dengan efektivitas pembelajaran. Dengan kata lain, peringatan Angeli dan Valanides (2009) relevan untuk menjelaskan mengapa hingga kini masih terdapat kesenjangan antara penguasaan teknologi dan penerapannya dalam konteks pedagogis yang bermakna. Studi berskala besar yang dilakukan oleh Koh et al. (2010) juga mendukung temuan ini. Mereka menemukan bahwa penguasaan TPACK calon guru di Singapura lebih menonjol pada dimensi teknis dibandingkan integrasi pedagogi, yang selaras dengan temuan penelitian ini bahwa pelatihan yang hanya berorientasi pada teknologi belum cukup efektif membekali guru dalam menerapkan pembelajaran berbasis teknologi secara optimal. Koh et al. (2010) menekankan pentingnya pendekatan pelatihan yang holistik dan kontekstual, yang juga menjadi salah satu rekomendasi utama dari penelitian ini.

Penelitian terbaru oleh Huang et al. (2025) memperkuat urgensi pendekatan yang adaptif, terutama dalam membandingkan TPACK guru pendidikan umum dan pendidikan khusus di Tiongkok. Temuan mereka menunjukkan bahwa perbedaan konteks pendidikan memerlukan strategi integrasi TPACK yang berbeda, sehingga memperkuat kebutuhan akan pelatihan yang relevan dan sesuai kebutuhan lapangan. Hal ini sejalan dengan kebutuhan pelatihan berbasis simulasi dan lesson planning seperti yang dikemukakan oleh Çağlar dan Çalik (2024), Habiyaremye et al. (2024), dan Ga et al. (2025). Dalam konteks perkembangan teknologi kecerdasan buatan, Saharuddin et al. (2025) menekankan bahwa pemanfaatan AI dalam pendidikan memerlukan pemahaman TPACK yang mendalam. Penelitian mereka mengonfirmasi temuan Oved dan Alt (2025) serta Yue et al. (2024) bahwa kesiapan guru dalam mengadopsi teknologi AI belum memadai secara pedagogis. Temuan ini menegaskan perlunya pelatihan yang secara spesifik mengembangkan kemampuan guru dalam merancang pembelajaran yang mengintegrasikan AI dengan strategi pedagogis yang tepat.

Aksoy dan Çetinkaya (2025) menambahkan bahwa tingkat self-efficacy guru berpengaruh signifikan terhadap penguasaan TPACK dan penerapan teknologi dalam pembelajaran. Temuan ini memperkuat hasil penelitian Joshpine dan Albina (2023) yang menyoroti pentingnya kesadaran metakognitif dan refleksi diri dalam penguatan TPACK. Dengan demikian, pelatihan guru harus dirancang tidak hanya untuk meningkatkan keterampilan teknis dan pedagogis, tetapi juga untuk membangun kepercayaan diri guru dalam mengadopsi dan menerapkan teknologi secara efektif. Selain itu, Akter (2025) dalam konteks pendidikan menengah di Bangladesh menekankan bahwa integrasi TPACK di sekolah masih menghadapi kendala sistemik, seperti keterbatasan sumber daya dan kurangnya dukungan kebijakan. Ini memperkuat pentingnya rekomendasi dalam penelitian ini bahwa selain penguatan kapasitas guru, dukungan institusional, kebijakan yang adaptif, serta penyediaan infrastruktur yang memadai merupakan komponen penting yang tidak dapat diabaikan dalam pengembangan TPACK. Secara keseluruhan, temuan penelitian ini selaras dengan literatur global yang menekankan bahwa pengembangan TPACK yang efektif harus bersifat holistik, kontekstual, dan berkelanjutan, serta harus memperhatikan keseimbangan antara penguasaan teknologi, strategi pedagogis, dan pemahaman konten.

Salah satu kemungkinan penyebab dominasi fokus pada aspek teknis adalah karena kemudahan pengukuran kompetensi teknologi dibandingkan dengan evaluasi penerapan pedagogi yang lebih kompleks dan kontekstual. Selain itu, adopsi teknologi yang belum sepenuhnya terintegrasi secara pedagogis dapat disebabkan oleh keterbatasan pelatihan yang belum secara menyeluruh menghubungkan aspek teknologi dengan strategi pembelajaran yang efektif. Temuan tentang efektivitas komunitas belajar profesional juga dapat dijelaskan oleh kenyataan bahwa lingkungan kolaboratif memungkinkan guru untuk berbagi pengalaman secara lebih terbuka, sehingga proses refleksi dan penguatan TPACK menjadi lebih bermakna dan berkelanjutan.

Meskipun hasil penelitian ini menunjukkan pentingnya pelatihan berbasis simulasi dan komunitas belajar, tidak dapat diabaikan bahwa efektivitas pengembangan TPACK juga dapat dipengaruhi oleh faktor-faktor eksternal lainnya seperti dukungan kebijakan sekolah, ketersediaan infrastruktur, dan tingkat motivasi individu guru. Selain itu, dalam beberapa konteks, kemungkinan besar guru mengalami keterbatasan waktu dan beban kerja yang tinggi, yang dapat menghambat partisipasi mereka dalam pelatihan lanjutan atau komunitas belajar profesional. Menariknya, meskipun sebagian besar guru menunjukkan sikap positif terhadap teknologi, resistensi terhadap penerapan teknologi baru tetap muncul sebagaimana diungkapkan dalam penelitian Oved dan Alt (2025). Hal ini mungkin disebabkan oleh ketidakpastian guru dalam menghadapi teknologi yang cepat berubah atau kekhawatiran tentang kemampuan mereka dalam mengelola pembelajaran berbasis teknologi secara efektif. Temuan ini menunjukkan bahwa sikap positif tidak secara otomatis menghasilkan kesiapan praktik, yang menjadi tantangan tersendiri dalam integrasi TPACK.

Implikasi penting dari penelitian ini adalah perlunya pergeseran fokus pelatihan guru dari penguasaan teknis menuju pelatihan yang lebih holistik, yang secara eksplisit mengintegrasikan dimensi pedagogis dan konten. Selain itu, program pengembangan profesional perlu

memfasilitasi pembentukan komunitas belajar yang aktif dan berkelanjutan sebagai strategi untuk meningkatkan penguasaan TPACK dalam jangka panjang. Pengembangan TPACK juga harus diarahkan pada pemanfaatan teknologi inovatif seperti VR dan smart classroom yang terbukti dapat mendorong transformasi strategi pembelajaran yang lebih adaptif dan kontekstual.

Perlu dicatat bahwa penelitian ini memiliki keterbatasan, yaitu hanya mengandalkan analisis literatur tanpa data empiris dari lapangan. Oleh karena itu, hasil penelitian ini perlu diuji lebih lanjut melalui studi observasional atau eksperimental untuk mendapatkan gambaran yang lebih akurat tentang efektivitas pelatihan TPACK dan dampaknya terhadap hasil belajar siswa. Penelitian selanjutnya disarankan untuk mengeksplorasi lebih dalam tentang bagaimana penerapan teknologi inovatif dapat disesuaikan dengan kebutuhan pembelajaran spesifik di berbagai jenjang pendidikan. Selain itu, penelitian empiris yang melibatkan guru dan siswa secara langsung diperlukan untuk mengukur dampak konkret integrasi TPACK terhadap keterlibatan dan prestasi siswa dalam pembelajaran berbasis teknologi.

4. KESIMPULAN

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kebijakan pendidikan di era Revolusi Industri 4.0 dengan fokus pada penguatan integrasi teknologi dalam kurikulum melalui studi literatur, khususnya dalam implementasi Technological Pedagogical Content Knowledge (TPACK). Hasil analisis menunjukkan bahwa meskipun guru umumnya memiliki sikap positif terhadap penggunaan teknologi, kesiapan pedagogis mereka masih terbatas. Banyak penelitian terdahulu lebih menekankan penguasaan alat digital dibandingkan penerapannya dalam strategi pembelajaran efektif. Penelitian ini menegaskan pentingnya pelatihan berbasis simulasi, perencanaan pembelajaran, refleksi terstruktur, dan dukungan komunitas belajar profesional untuk mengembangkan TPACK secara berkelanjutan. Selain itu, integrasi teknologi inovatif seperti Virtual Reality dan smart classroom dinilai mampu memperkuat penguasaan TPACK secara kontekstual. Penelitian ini berkontribusi dalam memetakan faktor-faktor kunci yang memengaruhi efektivitas integrasi TPACK dan memberikan rekomendasi strategis bagi pengembangan profesional guru yang holistik, berkelanjutan, dan berbasis kebutuhan lapangan. Rekomendasi mencakup desain pelatihan kontekstual, penguatan komunitas belajar profesional, integrasi teknologi inovatif, serta dukungan kebijakan untuk pelatihan berkelanjutan. Penelitian lanjutan disarankan untuk mengkaji implementasi TPACK di lapangan, menguji efektivitas model pelatihan, mengembangkan instrumen pengukuran kontekstual, serta menganalisis kesenjangan akses teknologi guna mewujudkan penerapan TPACK yang inklusif dan merata.

5. REFERENSI

Aksoy, H., & Çetinkaya, Y. B. (2025). Investigating the association between technological pedagogical content knowledge (TPACK) and self-efficacy among Turkish EFL prep school

- teachers. *Contemporary English Language Studies*, 1(1), 1–21. <https://dergipark.org.tr/en/download/article-file/4480022>
- Akter, M. (2025). Integrating technological pedagogical content knowledge in secondary education in Bangladesh. *Bangladesh Teacher Education Journal (BTEJ)*, 143. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.10557.99046>
- Alghamdi, K. A. (2023). Teachers' content, pedagogical, and technological knowledge, and the use of technology in teaching pronunciation. *Journal of Psycholinguistic Research*, 52(5), 1821–1839. <https://doi.org/10.1007/s10936-023-09962-3>
- Álvarez-Otero, J., & De Lázaro y Torres, M. L. (2018). Education in sustainable development goals using the spatial data infrastructures and the TPACK model. *Education Sciences*, 8(4), 171. <https://doi.org/10.3390/educsci8040171>
- Angeli, C., & Valanides, N. (2009). Epistemological and methodological issues for the conceptualization, development, and assessment of ICT–TPCK: Advances in technological pedagogical content knowledge (TPCK). *Computers & Education*, 52(1), 154–168. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2008.07.006>
- Angraini, E., Zubaidah, S., Susanto, H., & Omar, N. (2022). Enhancing creativity in genetics using three teaching strategies-based TPACK model. *Eurasia Journal of Mathematics, Science and Technology Education*, 18(12), em2196. <https://doi.org/10.29333/ejmste/12697>
- Azizah, I. N., Febriyanto, B., & Rasyid, A. (2023). Penerapan Model Pembelajaran Group Investigation Sebagai Keterampilan Berbicara Siswa Abad 21. *Jurnal Ilmiah Pendidik Indonesia*, 2(1), 18–26. <https://doi.org/10.56916/jipi.v2i1.308>
- Booth, W. C. (2002). *The craft of research* (2nd ed.). University of Chicago Press.
- Cabero, J., & Barroso, J. (2016). ICT teacher training: A view of the TPACK model. *Culture and Education*, 28(3), 633–663. <https://doi.org/10.1080/11356405.2016.1203526>
- Çağlar, D., & Çalik, M. (2024). Pre-service primary school teachers' technological pedagogical content knowledge regarding a science unit. *Canadian Journal of Science, Mathematics and Technology Education*, 24(1), 5–22. <https://doi.org/10.1007/s42330-024-00317-1>
- Choirudin, C., & Saman, S. (2025). Integrasi teknologi digital melalui manajemen inovasi pendidikan di SDN 1 Bumi Dipasena Mulya. *Jurnal Pendidikan Guru Madrasah Ibtidaiyah Al-Multazam*, 11(1), 62–70. <https://jpgmi.stitmultazam.ac.id/index.php/JPGMI/article/view/51/48>
- Dewi, C., Perdima, F. E., Alamsyah, H., & Ananda, H. (2024). Manajemen pembelajaran kolaboratif melalui integrasi teknologi dalam implementasi kurikulum merdeka sebagai inovasi pembelajaran di SMP N 2 Kota Bengkulu. *BEKTI: Jurnal Pengabdian kepada Masyarakat*, 3(2), 112–124. <https://doi.org/10.56480/bekti.v3i2.1319>
- Ferdig, R. E. (2006). Assessing technologies for teaching and learning: Understanding the importance of technological pedagogical content knowledge. *British Journal of Educational Technology*, 37(5), 749–760. <https://doi.org/10.1111/j.1467-8535.2006.00559.x>

- Ga, S. H., Cha, H. J., & Yoon, H. G. (2025). Pre-service elementary teachers' technological pedagogical and content knowledge in lesson planning and post-lesson reflection discourses on science classes using virtual and augmented reality content. *Journal of Science Education and Technology*, 34(1), 171–182. <https://doi.org/10.1007/s10956-024-10171-3>
- Habiyaremye, H. T., Ntivuguruzwa, C., & Ntawiha, P. (2024). Developing mathematical knowledge for teaching through lesson planning and technological pedagogical content knowledge among Rwandan teacher training college tutors. *Education and Information Technologies*, 29(16), 21063–21093. <https://doi.org/10.1007/s10639-024-12634-x>
- Hakim, M. N., & Abidin, A. A. (2024). Platform merdeka mengajar: Integrasi teknologi dalam pendidikan vokasi dan pengembangan guru. *Kharisma: Jurnal Administrasi Dan Manajemen Pendidikan*, 3(1), 68–82. <https://doi.org/10.59373/kharisma.v3i1.47>
- Huang, K. Y., Chien, W. C., Zhang, Y., Wang, S. W., & Wang, Q. (2025). A comparative study of technological pedagogical content knowledge between special education and general education in China. *Technology, Pedagogy and Education*, 34(1), 19–33. <https://doi.org/10.1080/1475939X.2024.2374284>
- Hutasoit, G. H., Mutia, S., Hasannah, U., & Simarmata, R. (2025). Integrasi teknologi interaktif dalam pembelajaran matematika SD berbasis kurikulum merdeka. *Harmoni Pendidikan: Jurnal Ilmu Pendidikan*, 2(3), 296–302. <https://doi.org/10.62383/hardik.v2i3.1843>
- Jammeh, A. L., Karegeya, C., & Ladage, S. (2024). Application of technological pedagogical content knowledge in smart classrooms: Views and its effect on students' performance in chemistry. *Education and Information Technologies*, 29(8), 9189–9219. <https://doi.org/10.1007/s10639-023-12158-w>
- Jang, S. J., & Tsai, M. F. (2013). Exploring the TPACK of Taiwanese secondary school science teachers using a new contextualized TPACK model. *Australasian Journal of Educational Technology*, 29(4). <https://doi.org/10.14742/ajet.282>
- Joshpine, T., & Albina, A. P. (2023). Influence of metacognitive awareness on technological pedagogical and content knowledge (TPACK) among preservice teachers. *Education and Information Technologies*, 28(11), 14553–14576. <https://doi.org/10.1007/s10639-023-11764-y>
- Kim, J. U., & Yoon, H. G. (2024). Exploring pre-service elementary teachers' technological pedagogical content knowledge in developing and using virtual reality materials reflecting spatial thinking in astronomy class. *Journal of Science Education and Technology*, 1–17. <https://doi.org/10.1007/s10956-024-10157-1>
- Koh, J. H. L., Chai, C. S., & Tsai, C. C. (2010). Examining the technological pedagogical content knowledge of Singapore pre-service teachers with a large-scale survey. *Journal of Computer Assisted Learning*, 26(6), 563–573. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2729.2010.00372.x>

- Levy, Y., & Ellis, T. J. (2006). A systems approach to conduct an effective literature review in support of information systems research. *Informing Science: The International Journal of an Emerging Transdiscipline*, 9, 181–212.
- Liriwati, F. Y. (2023). Revolusi digital dan merdeka belajar: Meningkatkan daya saing siswa di era teknologi. *Journal Innovation in Education*, 1(3), 221–231. <https://doi.org/10.59841/inoved.v1i3.284>
- Lye, L. T. (2013). Opportunities and challenges faced by private higher education institution using the TPACK model in Malaysia. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 91, 294–305. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2013.08.426>
- Majdji, A. H., & Hariyadi, A. (2025). Peran teknologi dalam pengelolaan pendidikan inklusif. *Equity in Education Journal*, 7(1), 14–19. <https://doi.org/10.37304/eej.v7i1.18956>
- Misbah, Z., & Rasyid, A. (2022, October). Pengaruh model pembelajaran stad dengan metode demonstrasi terhadap peningkatan hasil belajar dan keterampilan proses belajar siswa smp. In *Prosiding Seminar Nasional Pendidikan* (Vol. 4, pp. 335-342).
- Maufiroh, U. M., Kusumawati, W. I. K., & Basith, A. B. (2025). Kesenjangan integrasi teknologi dalam pembelajaran di sekolah dasar. *Didaktik: Jurnal Ilmiah PGSD STKIP Subang*, 11(2), 265–272. <https://doi.org/10.36989/didaktik.v11i02.6038>
- Mawardi, D. (2025). The role of accessibility in supporting inclusive education in schools for students with special needs. *Jurnal Manajemen Pendidikan Islam Al-Idarah*, 10(2), 51–60. <https://www.ejournal-stitpringsewu.ac.id/index.php/jmpi/article/download/632/309>
- Mulyanti, D. (2025). Strategi manajemen pendidikan di era digital: Optimalisasi infrastruktur, SDM, dan pembelajaran berbasis teknologi. *Jurnal Pelita Nusantara*, 2(4), 376–383. <https://doi.org/10.59996/jurnalpelitanusantara.v2i4.698>
- Nilna, N. F. (2025). Manajemen digitalisasi pembelajaran PAI di SMP. *Advances in Education Journal*, 1(4), 317–327. <https://journal.al-afif.org/index.php/aej/article/view/51/37>
- Oved, O., & Alt, D. (2025). Teachers' technological pedagogical content knowledge (TPACK) as a precursor to their perceived adopting of educational AI tools for teaching purposes. *Education and Information Technologies*, 1–27. <https://doi.org/10.1007/s10639-025-13371-5>
- Rohmah, S. N., & Andriansyah, E. H. (2024). Analisis dampak integrasi teknologi dalam pembelajaran diferensiasi. *PROMOSI: Jurnal Program Studi Pendidikan Ekonomi (e-Journal)*, 12(1), 57–72. <https://doi.org/10.24127/jp.v12i1.10334>
- Rodríguez Moreno, J., Agreda Montoro, M., & Ortiz Colon, A. M. (2019). Changes in teacher training within the TPACK model framework: A systematic review. *Sustainability*, 11(7), 1870. <https://doi.org/10.3390/su11071870>
- Saharuddin, M. H., Nasir, M. K. M., & Mahmud, M. S. (2025). Exploring teachers' technological pedagogical content knowledge in utilising artificial intelligence (AI) for teaching. *International Journal of Learning, Teaching and Educational Research*, 24(1), 136–151. <https://doi.org/10.26803/ijlter.24.1.7>

- Scherer, R., Tondeur, J., & Siddiq, F. (2017). On the quest for validity: Testing the factor structure and measurement invariance of the technology-dimensions in the technological, pedagogical, and content knowledge (TPACK) model. *Computers & Education*, 112, 1–17. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2017.04.012>
- Snyder, H. (2019). Literature review as a research methodology: An overview and guidelines. *Journal of Business Research*, 104, 333–339. <https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2019.07.039>
- Su, F., Zou, D., & Wang, L. (2023). Learning-by-doing in a professional learning community: Technological pedagogical and content knowledge development of Hong Kong university teaching staff. *Asia Pacific Education Review*, 1–16. <https://doi.org/10.1007/s12564-023-09918-1>
- Sukaesih, S., Ridlo, S., & Saptono, S. (2017). Analisis kemampuan technological pedagogical and content knowledge (TPACK) calon guru pada mata kuliah PP Bio. In *Prosiding SNPS (Seminar Nasional Pendidikan Sains)* (pp. 58–64). <https://www.academia.edu/download/87544384/8077.pdf>
- Wahyudi, D., & Fauziati, E. (2025). Peran ICT dalam pembelajaran pada program digital class: Studi fungsi, hambatan, dan faktor pendukung implementasi. *Didaktika: Jurnal Kependidikan*, 14(1 Februari), 309–328. <https://doi.org/10.58230/27454312.1792>
- Widodo, W., Wahyudin, A., Masrukhi, M., & Widiyanto, W. (2023, June). Tantangan radikal berdampak pada kegagalan integrasi teknologi dalam inovasi pendidikan. In *Prosiding Seminar Nasional Pascasarjana* (Vol. 6, No. 1, pp. 901–905). <https://proceeding.unnes.ac.id/snpsasca/article/view/2237/1720>
- Yildiz, E., & Arpaci, I. (2024). Understanding pre-service mathematics teachers' intentions to use GeoGebra: The role of technological pedagogical content knowledge. *Education and Information Technologies*, 29(14), 18817–18838. <https://doi.org/10.1007/s10639-024-12614-1>
- Yue, M., Jong, M. S. Y., & Ng, D. T. K. (2024). Understanding K–12 teachers' technological pedagogical content knowledge readiness and attitudes toward artificial intelligence education. *Education and Information Technologies*, 1–32. <https://doi.org/10.1007/s10639-024-12621-2>
- Zhao, X., & Wang, F. (2024). A quantitative model of technological pedagogical content knowledge (TPACK) based on graphical calculation. *Discover Education*, 3(1), 1–11. <https://doi.org/10.1007/s44217-024-00275-8>
- Zulham, M., Sukmawati, S., & Herdiana, B. (2023). Lokakarya pembelajaran daring berbasis learning manajemen sistem melalui kursus digital. *Jurnal IPMAS*, 3(1), 26–41. <https://doi.org/10.54065/ipmas.3.1.2023.363>