

14. JESCS-Sep'26. Nurwanto_Integrasi pedagogik, teknologi, dan keilmuan dalam pendidikan guru masa kini (171-182).pdf

 Politeknik Negeri Bali

Document Details

Submission ID

trn:oid::3618:144457665

Submission Date

Jun 29, 2026, 8:55 AM GMT+8

Download Date

Jun 29, 2026, 8:58 AM GMT+8

File Name

14. JESCS-Sep'26. Nurwanto_Integrasi pedagogik, teknologi, dan keilmuan dalam pendidikan gur....pdf

File Size

232.1 KB

12 Pages

6,267 Words

42,950 Characters

2% Overall Similarity

The combined total of all matches, including overlapping sources, for each database.

Filtered from the Report

- Bibliography
- Small Matches (less than 12 words)

Top Sources

- 1%  Internet sources
- 1%  Publications
- 1%  Submitted works (Student Papers)

Integrity Flags

0 Integrity Flags for Review

No suspicious text manipulations found.

Our system's algorithms look deeply at a document for any inconsistencies that would set it apart from a normal submission. If we notice something strange, we flag it for you to review.

A Flag is not necessarily an indicator of a problem. However, we'd recommend you focus your attention there for further review.

Top Sources

- 1%  Internet sources
- 1%  Publications
- 1%  Submitted works (Student Papers)

Top Sources

The sources with the highest number of matches within the submission. Overlapping sources will not be displayed.

1	Submitted works	Universitas Sebelas Maret on 2026-06-16	<1%
2	Submitted works	Universitas Negeri Medan on 2026-04-06	<1%
3	Internet	ejournal.bamala.org	<1%
4	Internet	jonedu.org	<1%
5	Publication	Emilia Zahra Narlita, Lintang Laila Medianti, Novita Putri Wijayanti, Aisyah Dani R...	<1%
6	Internet	id.123dok.com	<1%

Integrasi pedagogik, teknologi, dan keilmuan dalam pendidikan guru masa kini

Khamila Amalia Nurwanto

Universitas Muhammadiyah Prof Dr Hamka

Email: khamilaamalian@gmail.com

Article information

Received: 29 Jun 2026

Revised: 11 Aug 2026

Accepted: 20 Aug 2026

Published: 02 Sep 2026

Abstract - The rapid growth of digital technology requires pre-service teachers to develop balanced pedagogical, technological, and content knowledge. This study aims to explain the use of Technological Pedagogical Content Knowledge (TPACK) in teacher education and to identify its challenges and possible strategies in Faculties of Teacher Training and Education (FKIP). This study used the Integrative Literature Review (ILR) method to review and analyse findings from previous studies. The results show that pre-service teachers generally have better technology skills than their ability to combine technology with teaching methods and subject knowledge, indicating that all TPACK components still need further improvement. Therefore, strengthening the curriculum, providing training, and using technology appropriately might help prepare future teachers for teaching in the digital era.

Keywords: TPACK, teacher education, pre-service teachers, FKIP, digital Era

Abstrak - Perkembangan teknologi digital saat ini mewajibkan calon guru atau mahasiswa pendidikan untuk memiliki kemampuan pedagogik, teknologi, dan keilmuan yang seimbang. Penelitian ini bertujuan untuk menjelaskan penerapan TPACK dalam pendidikan guru serta tantangan dan strategi penerapannya di FKIP. Metode yang digunakan adalah Integrative Literature Review (ILR) dengan menganalisis berbagai artikel ilmiah kemudian mensintesis hasil. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kemampuan teknologi mahasiswa calon guru terlihat lebih baik dibandingkan kemampuan menghubungkan teknologi dengan pedagogik dan penguasaan materi, sehingga seluruh komponen pedagogik, teknologi, dan keilmuan masih harus dikembangkan secara seimbang. Dalam hal ini, solusi seperti mencoba menguatkan melalui kurikulum, pelatihan, dan pemanfaatan teknologi yang tepat diharapkan dapat meningkatkan kesiapan calon guru menghadapi pembelajaran di era digital.

Kata-kunci: TPACK, pendidikan guru, mahasiswa keguruan, FKIP, digital

1. Pendahuluan

Pendidikan guru memiliki peran penting dalam menghasilkan lulusan yang mampu menjawab perubahan pembelajaran di era digital. Di zaman yang modern seperti saat ini, guru tidak lagi hanya dituntut menguasai materi pelajaran dan kemampuan mengajar, namun juga diharuskan dapat menggunakan teknologi secara tepat agar pembelajaran berjalan lebih efektif dan sesuai dengan kebutuhan peserta didik (Budiana, 2022). Menurut Mishra dan Koehler (2006), kemampuan tersebut digambarkan melalui *Technological Pedagogical Content Knowledge* (TPACK) yang menggabungkan pengetahuan tentang teknologi, pedagogik, dan materi pembelajaran sebagai satu kesatuan yang saling melengkapi. Integrasi TPACK menjadi semakin relevan karena pembelajaran abad ke-21 membutuhkan guru yang mampu memilih teknologi sesuai tujuan pembelajaran serta karakteristik peserta didik (Budiana, 2022). Terlebih lagi, di masa Kurikulum Merdeka seperti saat ini, guru diberikan ruang untuk menyusun pembelajaran yang lebih fleksibel, sehingga penguasaan pedagogik, teknologi,

dan materi menjadi bekal yang diperlukan agar tujuan kurikulum dapat dicapai secara optimal (Merdekawaty *et al.*, 2024).

Mahasiswa Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan (FKIP) sebagai calon guru mulai mempersiapkan kompetensi tersebut selama menjalani pendidikan di perguruan tinggi. Penguasaan TPACK membantu mahasiswa memahami cara menghubungkan materi pelajaran, strategi mengajar, dan penggunaan teknologi dalam satu proses pembelajaran yang saling mendukung. Kemampuan tersebut juga mendukung mahasiswa dalam menerapkan prinsip Kurikulum Merdeka yang memberi perhatian pada kebutuhan belajar peserta didik, penyusunan pembelajaran yang lebih bervariasi, serta penggunaan teknologi sebagai pendukung pembelajaran (Chang *et al.*, 2024). Sebagian besar mahasiswa calon guru telah memiliki kompetensi pedagogik yang cukup baik dalam menerapkan Kurikulum Merdeka, terutama pada perencanaan dan pelaksanaan pembelajaran, meskipun masih terdapat beberapa aspek yang perlu ditingkatkan (Merdekawaty *et al.*, 2024). Maka dari itu, penguasaan kompetensi sejak masa perkuliahan diharapkan membantu mahasiswa lebih siap menjalankan tugas sebagai guru setelah memasuki dunia kerja. Masa kuliah dan belajar di FKIP menjadi tahap awal bagi calon guru untuk mengembangkan kemampuan mengajar yang selaras dengan perkembangan teknologi dan tuntutan kurikulum yang terus berubah (Qadrianty *et al.*, 2024).

Namun demikian, penerapan TPACK pada mahasiswa calon guru masih menghadapi beberapa tantangan yang berdampak pada kesiapan mereka dalam mengajar. Beberapa tantangan tersebut seperti mahasiswa yang masih mengalami kesulitan dalam menyesuaikan strategi pembelajaran dengan prinsip kurikulum, melakukan penilaian pembelajaran, serta mengelola kelas sesuai kebutuhan peserta didik. Masa Program Pengalaman Lapangan (PPL) yang relatif singkat, keterbatasan pendampingan, serta kesempatan yang terbatas untuk belajar bersama guru berpengalaman juga ikut berdampak pada rasa percaya diri mahasiswa dalam mengajar. Selain itu, keterbatasan fasilitas teknologi dan kemampuan menggunakan teknologi masih menjadi hambatan yang dapat mengurangi pemanfaatan teknologi dalam pembelajaran (Zulfa *et al.*, 2023). Tantangan tersebut menunjukkan bahwa penguatan kemampuan pedagogik, penguasaan teknologi, dan pemahaman materi masih harus terus dikembangkan selama mahasiswa menempuh pendidikan di FKIP agar lebih siap menerapkan pembelajaran sesuai tuntutan Kurikulum Merdeka.

Beberapa penelitian terdahulu mengenai TPACK dalam pendidikan guru menunjukkan bahwa kemampuan menggabungkan pengetahuan teknologi, pedagogik, dan materi terus dikembangkan agar calon guru mampu menjawab perubahan pembelajaran pada era digital. Dogan *et al.* (2025) melalui *systematic literature review* terhadap 14 program pengembangan guru yang memanfaatkan kecerdasan buatan menjelaskan bahwa TPACK menjadi kerangka utama untuk mengembangkan kemampuan guru dalam menggunakan AI sesuai tujuan pembelajaran, bahkan dikembangkan menjadi Intelligent-TPACK dengan menambahkan pemahaman mengenai penggunaan AI secara bertanggung jawab dan etis. Selain itu, ada juga penelitian lain yang menggunakan 132 mahasiswa pendidikan IPA dari 18 perguruan tinggi di Indonesia sebagai subjek penelitian dan menggambarkan kemampuan TPACK mahasiswa melalui tujuh komponen, yaitu TK, PK, CK, PCK, TCK, TPK, dan TPACK, dengan hasil bahwa kemampuan menggunakan teknologi mendapatkan nilai lebih tinggi dibandingkan kemampuan TPACK secara menyeluruh sehingga penguasaan ketiga unsur tersebut masih perlu dikembangkan secara bersamaan (Widiyatmoko *et al.*, 2025).

Integrasi teknologi dalam pendidikan guru semakin bergeser dari sekadar berfokus pada penguasaan teknologi menuju pengembangan kompetensi pedagogis yang memungkinkan guru memanfaatkan teknologi digital secara bermakna untuk meningkatkan pembelajaran peserta didik. Literatur secara konsisten menegaskan bahwa integrasi teknologi yang efektif memerlukan perpaduan antara pengetahuan teknologi, pengetahuan pedagogis, dan pengetahuan materi ajar, bukan sekadar adopsi perangkat digital secara terpisah (Barak, 2016; Tanak, 2018).

Penelitian terkini menunjukkan bahwa teknologi yang sedang berkembang, termasuk virtual reality, simulasi digital, dan platform pembelajaran interaktif, telah memperluas peluang dalam pembelajaran sains melalui peningkatan pembelajaran berbasis inkuiri, keterlibatan peserta didik, dan pengalaman ilmiah yang autentik. Namun, banyak penelitian juga mengakui bahwa teknologi tersebut akan memberikan manfaat yang optimal apabila diintegrasikan ke dalam kerangka pedagogis yang dirancang dengan baik, bukan hanya digunakan sebagai inovasi teknologi semata (Silva-Díaz *et al.*, 2023; Milner-Bolotin & Martinovic, 2025).

Literatur juga menunjukkan bahwa integrasi teknologi berkontribusi terhadap pengembangan keterampilan berpikir kritis, kreativitas, pemecahan masalah, serta kompetensi abad ke-21 pada calon guru. Meskipun demikian, peningkatan kompetensi tersebut sangat bergantung pada praktik yang berkelanjutan, dukungan institusi, dan kesempatan untuk menerapkan teknologi dalam konteks pembelajaran yang nyata, bukan hanya melalui pelatihan yang bersifat sesaat (Yilmaz, 2021; Sayadi & Pangandaman, 2025).

Sejumlah penelitian mengungkapkan bahwa banyak guru sains maupun calon guru masih mengalami kesulitan dalam mengintegrasikan teknologi secara efektif meskipun akses terhadap sumber daya digital semakin meningkat. Tantangan tersebut meliputi keterbatasan Technological Pedagogical Content Knowledge (TPACK), rendahnya kepercayaan diri, kurang memadainya program pengembangan profesional, serta dukungan institusi yang belum konsisten. Temuan ini menunjukkan bahwa ketersediaan infrastruktur teknologi saja belum cukup untuk menjamin keberhasilan implementasi teknologi di kelas (Dinçer, 2024; Sulfanjanti et al., 2026; Voithofer & Nelson, 2020).

Para peneliti selanjutnya menekankan bahwa program pendidikan guru perlu mengadopsi model pengembangan profesional yang komprehensif untuk memperkuat kompetensi teknologi guru sekaligus mendorong inovasi pedagogis, kolaborasi, praktik reflektif, dan pembelajaran berkelanjutan. Pendekatan yang terintegrasi tersebut dipandang penting untuk mempersiapkan pendidik menghadapi perubahan pendidikan yang semakin dinamis serta meningkatkan kinerja pembelajaran di lingkungan yang kaya teknologi (Panakaje et al., 2024; Theodorio, 2024).

Isu lain yang semakin mendapat perhatian adalah bagaimana memastikan bahwa integrasi teknologi mampu mendukung pemerataan pendidikan, bukan justru memperlebar kesenjangan yang telah ada. Para ahli berpendapat bahwa pendidikan guru perlu mengintegrasikan strategi pedagogis yang inklusif, pemerataan akses terhadap teknologi, serta pendekatan pembelajaran yang responsif terhadap keragaman budaya agar inovasi digital dapat memberikan manfaat yang setara bagi seluruh peserta didik (Weisberg & Dawson, 2023).

Meskipun literatur yang ada memberikan bukti yang cukup kuat mengenai manfaat integrasi teknologi dalam pendidikan guru, sebagian besar penelitian masih didominasi oleh desain penelitian potong lintang (cross-sectional), persepsi yang dilaporkan sendiri oleh responden, atau dilakukan pada konteks pendidikan tertentu. Oleh karena itu, bukti empiris mengenai dampak jangka panjang integrasi teknologi terhadap efektivitas mengajar guru, hasil belajar peserta didik, dan pemerataan pendidikan masih relatif terbatas. Penelitian selanjutnya perlu memprioritaskan studi longitudinal, melibatkan konteks pendidikan yang lebih beragam, serta mengevaluasi model pedagogis terintegrasi yang memadukan inovasi teknologi dengan praktik pembelajaran berbasis bukti (Barak, 2016; Milner-Bolotin & Martinovic, 2025; Sayadi & Pangandaman, 2025).

Terakhir, penelitian oleh Chang et al. (2024) dengan subjek prajabatan dan guru dalam jabatan di Indonesia untuk membandingkan perkembangan TPACK berdasarkan pengalaman mengajar dan keikutsertaan dalam Program Pendidikan Profesi Guru (PPG), dengan hasil bahwa calon guru yang mengikuti PPG memperoleh skor TPACK lebih tinggi dibandingkan calon guru yang belum mengikuti PPG, terutama pada komponen teknologi, sedangkan guru berpengalaman menunjukkan kemampuan yang lebih baik pada aspek pedagogik, materi, dan gabungan keduanya karena didukung pengalaman mengajar yang lebih lama. Hasil dari ketiga penelitian tersebut memperlihatkan bahwa TPACK merupakan kemampuan yang mampu menghubungkan teknologi, cara mengajar, dan materi pembelajaran yang terus berkembang mengikuti pemanfaatan teknologi digital dan kecerdasan buatan dalam pendidikan guru pada masa sekarang.

Meskipun beberapa penelitian terdahulu telah membahas TPACK pada guru maupun calon guru, pembahasan yang dilakukan masih lebih banyak menilai tingkat kemampuan TPACK, pengaruh suatu program terhadap TPACK, atau pemanfaatan teknologi tertentu dalam pembelajaran sehingga belum memberikan penjelasan lebih lengkap mengenai hubungan antara pedagogik, teknologi, dan keilmuan dalam pendidikan guru masa kini. Karena itu, artikel ini akan mengisi celah tersebut dengan mengumpulkan dan menyusun berbagai hasil penelitian mengenai penerapan pedagogik, teknologi, dan keilmuan pada pendidikan guru, tantangan yang dihadapi, serta strategi yang dapat dilakukan dalam lingkungan FKIP di era digital. Maka dari itu, artikel ini ditulis untuk menjawab pertanyaan: (1) Bagaimana integrasi pedagogik, teknologi, dan keilmuan diterapkan dalam pendidikan guru masa kini?

(2) Apa tantangan dan strategi implementasi integrasi pedagogik, teknologi, dan keilmuan dalam kurikulum FKIP di era digital?

2. Metode

Penelitian ini menggunakan metode *Integrative Literature Review* (ILR) yaitu metode yang digunakan untuk mengumpulkan, membandingkan, dan menyusun berbagai hasil penelitian sehingga membentuk pembahasan yang lebih lengkap mengenai suatu topik dari berbagai sudut pandang (Torraco, 2016). Metode ini dipilih karena mampu menggabungkan hasil dari berbagai sumber berupa jenis artikel ilmiah sehingga dapat memberikan gambaran yang lebih menyeluruh mengenai penerapan pedagogik, teknologi, dan keilmuan pada mahasiswa keguruan serta tantangan yang masih dihadapi.

Artikel yang digunakan memenuhi kriteria inklusi berupa artikel ilmiah terindeks yang diterbitkan pada periode 2021-2026, membahas 3 aspek yaitu pedagogik, teknologi, dan keilmuan atau TPACK pada mahasiswa keguruan, calon guru, atau membahas mahasiswa pendidikan dan guru secara bersamaan dengan TPACK sebagai pembahasan utama. Sedangkan, artikel yang termasuk ke dalam kriteria eksklusi, yaitu yang hanya membahas guru tanpa melibatkan mahasiswa keguruan, tidak menjadikan pedagogik, teknologi, dan keilmuan sebagai fokus utama, tidak menjelaskan perkembangan sesuai kebutuhan pendidikan masa kini, serta diterbitkan sebelum tahun 2021 tidak dimasukkan dalam proses penelusuran. Seluruh artikel yang memenuhi kriteria kemudian dipilih, dibaca menyeluruh, dan disusun berdasarkan kesesuaian dengan tujuan penelitian sehingga pembahasan difokuskan pada integrasi, tantangan yang dihadapi mahasiswa keguruan, serta langkah yang dapat dilakukan untuk mendukung pengembangan kompetensi calon guru.

Tabel 1. Penelitian yang memenuhi kriteria inklusi

No.	Penulis (Tahun)	Negara	Subjek	Metode	Hasil
1.	Dogan et al. (2025)	Internasional (literatur review)	Guru K-12 yang mengikuti program pengembangan profesional berbasis AI	Systematic review (protokol PRISMA) terhadap 14 studi	Program pengembangan profesional berbasis AI terbukti meningkatkan pengetahuan konten AI, keterampilan mengajar, efikasi diri, dan sikap guru terhadap teknologi AI, meskipun integrasi domain TPACK dan dimensi etika masih belum merata.
2.	Chang et al. (2024)	Indonesia	311 guru sains jenjang menengah (pra-jabatan dan dalam jabatan)	Survei komparatif dengan ANOVA	Program PPG pra-jabatan meningkatkan kompetensi TPACK guru sains, khususnya pada domain teknologi, namun guru berpengalaman tetap unggul dalam domain pedagogis dan konten.
3.	Widiyatmo ko et al. (2025)	Indonesia	132 mahasiswa calon guru IPA dari 18 universitas	Survei deskriptif (kuesioner 42 item)	Kemampuan TPACK calon guru IPA dalam pembelajaran daring rata-rata 79,87%, dengan skor tertinggi pada TPK, TCK, dan TK, menunjukkan dominasi kompetensi teknologi atas pedagogi dan konten.

4.	Sari et al. (2026)	Indonesia	6 mahasiswa calon guru SD di Jakarta	Studi kasus kualitatif (wawancara, observasi, analisis dokumen)	Calon guru SD memiliki pemahaman konten PPKn yang cukup baik, namun integrasi TPACK masih lemah karena teknologi hanya digunakan sebagai media visual, belum mendukung strategi pedagogis secara utuh.
5.	Lachner et al. (2021)	Jerman	208 mahasiswa calon guru dari 5 mata pelajaran	Quasi-experimental field study (pre-post test, multilevel regression)	Modul TPACK berbasis mata pelajaran selama 3 minggu secara signifikan meningkatkan TPACK dan efikasi diri calon guru dibanding kelompok kontrol, dengan persepsi dukungan sebagai mediator efektivitas.
6.	Diamah et al. (2022)	Indonesia	30 mahasiswa calon guru di universitas negeri	Mixed methods (quasi-experimental pretest-posttest, refleksi kualitatif)	Program pelatihan TPACK selama 2 minggu secara signifikan meningkatkan persepsi TPACK calon guru pada semua dimensi, dengan peningkatan terbesar pada domain TPK dan TPACK.
7.	Engin et al. (2023)	Turki	7 (tujuh) calon guru matematika	Studi kasus kualitatif (wawancara, rencana pelaksanaan pembelajaran, dan microteaching)	Penelitian ini menghasilkan revisi model TPACK Niess (2013) yang memiliki empat komponen dan enam tingkatan perkembangan khusus untuk calon guru matematika.
8.	Backfisch et al. (2023)	Jerman	68 calon guru (pre-service teachers)	Ex-post-facto dengan desain eksperimen pre-posttest	Heterogenitas motivasi dalam kelompok berdampak positif pada kualitas rencana pembelajaran yang dirancang secara kolaboratif, namun heterogenitas pengetahuan awal berdampak negatif terhadap peningkatan pengetahuan TPACK.
9.	Cheng et al. (2024)	Amerika Serikat	324 mahasiswa calon guru	Kuantitatif kuasi-eksperimen dengan analisis klaster multidimensi (K-means)	Penelitian berhasil mengidentifikasi lima profil unik calon guru dengan trajektori belajar dan membuktikan bahwa profil berbasis pedagogi memiliki intensi teknologi yang lebih tinggi.

10.	Santos dan Castro (2021)	Filipina	67 mahasiswa calon guru	Metode campuran (mixed-method) dengan analisis regresi linear berganda	Integrasi dari TPACK calon guru di kelas terbukti dipengaruhi oleh domain TPK dan TCK, namun masih memiliki kelemahan dalam fasilitas di sekolah.
-----	--------------------------	----------	-------------------------	--	---

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Hasil

3.1.1 Integrasi Pedagogik, Teknologi, dan Keilmuan dalam Pendidikan Guru Masa Kini

Kemampuan pedagogik merupakan salah satu bagian yang banyak dibahas dalam pengembangan TPACK pada mahasiswa FKIP atau pendidikan guru karena berhubungan dengan kemampuan menyusun pembelajaran yang sesuai dengan tujuan pembelajaran dan kebutuhan peserta didik. Penelitian terdahulu menunjukkan bahwa kemampuan pedagogik calon guru berkembang lebih baik apabila dipelajari bersamaan dengan penguasaan teknologi dan materi pelajaran, sehingga mahasiswa tidak hanya memahami cara mengajar tetapi juga mampu memilih teknologi yang sesuai dengan materi yang diajarkan (Lachner *et al.*, 2021; Diamah *et al.*, 2022). Program Pendidikan Profesi Guru (PPG) juga memberikan pengaruh terhadap peningkatan kemampuan pedagogik calon guru, meskipun guru yang telah memiliki pengalaman mengajar masih menunjukkan kemampuan pedagogik yang lebih tinggi dibandingkan guru pra-jabatan karena telah memiliki pengalaman yang lebih luas dalam menyusun pembelajaran (Chang *et al.*, 2024). Hasil tersebut menunjukkan bahwa pedagogik dalam TPACK tidak dipahami sebagai kemampuan mengajar secara terpisah, namun berkembang bersama pengetahuan teknologi dan materi sehingga mahasiswa mampu menyusun pembelajaran yang lebih sesuai dengan kebutuhan pendidikan masa kini. Sari *et al.* (2026) menyebutkan bahwa pengembangan kemampuan pedagogik sejak masa perkuliahan memberikan bekal bagi mahasiswa untuk memahami cara memilih pendekatan pembelajaran, menyusun tujuan pembelajaran, dan menentukan penggunaan teknologi yang sesuai dengan materi yang dipelajari.

Selain itu, aspek teknologi juga merupakan komponen TPACK yang mengalami perkembangan paling pesat seiring meningkatnya penggunaan teknologi digital dan kecerdasan buatan dalam dunia pendidikan. Sebagian besar mahasiswa calon guru memiliki kemampuan teknologi yang lebih tinggi dibandingkan kemampuan pedagogik maupun penguasaan materi, terutama pada komponen *Technology Knowledge* (TK), *Technological Pedagogical Knowledge* (TPK), dan *Technological Content Knowledge* (TCK) (Widiyatmoko *et al.*, 2025). Program pelatihan TPACK juga tercatat mampu meningkatkan kemampuan mahasiswa pada seluruh komponen TPACK, dengan peningkatan terbesar terjadi pada TPK dan TPACK sehingga mahasiswa menjadi lebih memahami pemanfaatan teknologi dalam pembelajaran (Diamah *et al.*, 2022). Pembelajaran yang memanfaatkan kecerdasan buatan juga memberikan dampak positif terhadap peningkatan pengetahuan, rasa percaya diri, dan sikap guru dalam menggunakan teknologi, meskipun kemampuan menghubungkan teknologi dengan pedagogik dan materi masih memerlukan penguatan secara berkelanjutan (Dogan *et al.*, 2025). Penelitian lain menunjukkan bahwa mahasiswa yang memiliki kemampuan pedagogik yang baik biasanya memiliki minat yang lebih tinggi untuk menggunakan teknologi dalam pembelajaran sehingga pengembangan teknologi disimpulkan sangat mendukung kemampuan mengajar dan penguasaan materi (Cheng *et al.*, 2024). Perkembangan tersebut menjelaskan bahwa pendidikan guru pada masa kini juga fokus ke arah kemampuan memilih teknologi yang sesuai dengan tujuan pembelajaran serta perkembangan teknologi yang terus berubah.

Dalam hal ini, aspek teknologi tidak dapat dipisahkan dari penguasaan materi pelajaran karena kedua komponen tersebut saling mendukung dalam pembentukan kemampuan TPACK secara menyeluruh (Diamah *et al.*, 2022). Sebuah penelitian menyebutkan bahwa penguasaan materi yang baik belum mampu menghasilkan kemampuan TPACK yang optimal jika belum disertai kemampuan memilih strategi mengajar dan teknologi yang sesuai dengan karakteristik materi pelajaran (Sari *et al.*, 2026). Penelitian lain pada calon guru matematika juga memperlihatkan bahwa perkembangan TPACK berlangsung secara bertahap melalui beberapa tingkatan sehingga mahasiswa membutuhkan proses pembelajaran yang berkelanjutan untuk mencapai kemampuan yang utuh (Engin *et al.*, 2023). Selain itu, kemampuan TPACK mahasiswa juga sangat dipengaruhi oleh beberapa aspek seperti perbedaan

motivasi, pengalaman belajar, dan pengetahuan awal yang dimiliki sehingga perkembangan setiap mahasiswa tidak selalu sama (Backfisch et al., 2023; Santos & Castro, 2021). Dengan ini, dapat dilihat bahwa TPACK menjadi dasar yang membantu mahasiswa menghubungkan pedagogik, teknologi, dan keilmuan secara seimbang sehingga mahasiswa pendidikan atau calon guru lebih siap menghadapi perubahan pembelajaran pada era digital di masa yang akan datang.

3.1.2 Tantangan dan Strategi Penerapan

Integrasi dari pedagogik, teknologi, dan keilmuan atau TPACK pada mahasiswa keguruan masih menghadapi beberapa tantangan yang berasal dari kemampuan mahasiswa maupun lingkungan pembelajaran. Sebagian besar mahasiswa telah memiliki kemampuan teknologi yang cukup baik, namun kemampuan menghubungkan teknologi dengan pedagogik dan materi pelajaran masih belum berkembang secara merata sehingga TPACK secara menyeluruh belum mencapai hasil yang optimal (Widiyatmoko et al., 2025; Sari et al., 2026). Beberapa aspek seperti perbedaan pengalaman belajar, motivasi, pengetahuan awal, serta pengalaman mengajar juga berdampak pada perkembangan kemampuan TPACK pada setiap mahasiswa (Backfisch et al., 2023). Di masa kini, teknologi masih digunakan hanya untuk penyajian materi, sedangkan pemanfaatannya untuk mendukung penyusunan pembelajaran dan pencapaian tujuan pembelajaran belum cukup baik (Sari et al., 2026). Selain itu, perkembangan kecerdasan buatan juga menambah tantangan baru karena mahasiswa juga membutuhkan pemahaman atas cara menggunakan AI secara tepat sekaligus memperhatikan aspek etika dalam penggunaannya (Dogan et al., 2025). Hasil tersebut memperlihatkan bahwa pengembangan TPACK masih membutuhkan dukungan agar seluruh komponen dapat berkembang bersamaan secara seimbang.

Adapun strategi yang dapat digunakan meliputi penyusunan mata kuliah yang secara khusus mengembangkan TPACK, pelaksanaan pelatihan TPACK secara bertahap, serta pemberian pengalaman belajar yang memberi kesempatan kepada mahasiswa untuk menghubungkan pedagogik, teknologi, dan materi pelajaran dalam satu pembelajaran (Lachner et al., 2021; Diamah et al., 2022). Selain itu, program Pendidikan Profesi Guru (PPG) juga menjadi salah satu cara yang mampu meningkatkan kemampuan TPACK, terutama dalam konteks Indonesia, yang harus difokuskan pada komponen teknologi sejak pendidikan pra-jabatan (Chang et al., 2024). Pengembangan pembelajaran yang memanfaatkan kecerdasan buatan disertai pembahasan mengenai etika penggunaan AI dapat membantu mahasiswa memahami penggunaan teknologi secara lebih tepat sesuai perkembangan pendidikan saat ini (Dogan et al., 2025). Beberapa cara lain seperti pendampingan dan bimbingan selama penyusunan perangkat pembelajaran, *microteaching*, serta kegiatan mengajar di sekolah juga memberikan kesempatan kepada mahasiswa untuk mengembangkan seluruh komponen TPACK secara lebih seimbang (Engin et al., 2023). Dalam hal ini, beberapa strategi tersebut dapat saling melengkapi dalam membantu mahasiswa keguruan mengembangkan kemampuan pedagogik, teknologi, dan keilmuan sehingga lebih siap menghadapi kebutuhan pendidikan pada era digital.

3.2 Pembahasan

Kemampuan pedagogik, teknologi, dan keilmuan menjadi tiga unsur yang saling melengkapi dalam membentuk kompetensi mahasiswa keguruan pada era digital (Cheng et al., 2024). Dari pembahasan, terlihat bahwa mahasiswa tidak cukup hanya menguasai salah satu unsur tersebut, karena kemampuan mengajar yang baik juga memerlukan pemahaman materi yang kuat serta kemampuan memilih dan memanfaatkan teknologi sesuai tujuan pembelajaran. Namun sebaliknya, penguasaan teknologi yang tinggi juga belum mampu memberikan hasil pembelajaran yang optimal apabila belum didukung oleh kemampuan pedagogik dan penguasaan materi yang memadai (Chanwaiwit, 2025). Hasil penelitian ini sesuai dengan konsep TPACK oleh Mishra dan Koehler (2006), yaitu bahwa ketiga unsur tersebut perlu berkembang secara bersama agar calon guru mampu menyusun pembelajaran yang sesuai dengan perkembangan pendidikan. Penerapan konsep tersebut mulai terlihat melalui penggunaan *Learning Management System*, media pembelajaran digital, simulasi virtual, serta kecerdasan buatan (*Artificial Intelligence/AI*) yang dimanfaatkan mahasiswa untuk menyusun perangkat pembelajaran, mencari referensi, dan mengembangkan rancangan pembelajaran (Hastomo et al., 2024).

Ketiga aspek tersebut tidak lagi dapat dipandang sebagai kompetensi yang berdiri sendiri, melainkan harus dipadukan secara terpadu agar calon guru mampu menjawab tantangan pembelajaran abad ke-21 yang semakin kompleks. Transformasi digital yang terjadi di dunia pendidikan

1

telah mengubah paradigma pembelajaran dari yang berpusat pada guru (teacher-centered) menjadi pembelajaran yang berpusat pada peserta didik (student-centered), sehingga menuntut mahasiswa keguruan untuk memiliki kemampuan merancang, melaksanakan, serta mengevaluasi pembelajaran dengan memanfaatkan teknologi secara efektif. Dalam konteks ini, kompetensi pedagogik berperan sebagai landasan dalam memahami karakteristik peserta didik, merancang strategi pembelajaran yang sesuai, dan menciptakan lingkungan belajar yang kondusif, sedangkan kompetensi keilmuan memastikan bahwa materi yang disampaikan memiliki kedalaman konseptual dan akurasi akademik. Sementara itu, kompetensi teknologi berfungsi sebagai sarana untuk memperkuat proses pembelajaran melalui pemanfaatan berbagai media dan platform digital.

Penguasaan materi yang baik memungkinkan mahasiswa menjelaskan konsep secara benar, menyusun contoh yang relevan, serta menghubungkan materi dengan kehidupan nyata sehingga pembelajaran menjadi lebih bermakna. Namun, penguasaan materi tanpa didukung strategi pedagogik yang tepat akan menyebabkan proses pembelajaran cenderung bersifat satu arah dan kurang mampu mengakomodasi kebutuhan belajar peserta didik yang beragam. Sebaliknya, kemampuan pedagogik yang baik tetapi tidak didukung oleh penguasaan substansi keilmuan dapat mengurangi kualitas penyampaian materi dan menimbulkan miskonsepsi dalam pembelajaran. Oleh karena itu, keseimbangan antara kemampuan pedagogik dan penguasaan materi merupakan fondasi utama dalam membangun profesionalisme calon guru.

Namun sebaliknya, penguasaan teknologi yang tinggi juga belum mampu memberikan hasil pembelajaran yang optimal apabila belum didukung oleh kemampuan pedagogik dan penguasaan materi yang memadai (Chanwaiwit, 2025). Kondisi ini menunjukkan bahwa keberhasilan integrasi teknologi tidak ditentukan oleh banyaknya aplikasi atau perangkat yang digunakan, tetapi oleh sejauh mana teknologi tersebut mampu meningkatkan kualitas pembelajaran. Dalam praktiknya, masih ditemukan mahasiswa yang mampu mengoperasikan berbagai aplikasi digital, tetapi mengalami kesulitan dalam merancang aktivitas pembelajaran yang mampu mendorong berpikir kritis, kreativitas, kolaborasi, dan pemecahan masalah. Sebaliknya, terdapat pula mahasiswa yang memiliki pemahaman materi yang baik, tetapi belum mampu memanfaatkan teknologi secara optimal sehingga pembelajaran menjadi kurang menarik dan kurang sesuai dengan karakteristik generasi digital. Oleh karena itu, pengembangan kompetensi mahasiswa keguruan perlu diarahkan pada kemampuan mengintegrasikan ketiga aspek tersebut secara harmonis dalam setiap tahapan pembelajaran.

Hasil penelitian ini sesuai dengan konsep TPACK oleh Mishra dan Koehler (2006), yaitu bahwa ketiga unsur tersebut perlu berkembang secara bersama agar calon guru mampu menyusun pembelajaran yang sesuai dengan perkembangan pendidikan. Kerangka TPACK menegaskan bahwa kompetensi guru bukan hanya merupakan akumulasi dari pengetahuan pedagogik, pengetahuan teknologi, dan pengetahuan konten, tetapi juga mencakup kemampuan mengintegrasikan ketiganya dalam situasi pembelajaran yang nyata. Melalui integrasi tersebut, calon guru diharapkan mampu menentukan strategi pembelajaran yang paling efektif, memilih media digital yang relevan, serta menyampaikan materi secara kontekstual sesuai dengan kebutuhan peserta didik. Pendekatan ini juga mendorong guru untuk lebih adaptif terhadap perubahan teknologi, tanpa mengabaikan prinsip-prinsip pedagogis dan kualitas materi pembelajaran. Dengan demikian, penguasaan TPACK menjadi salah satu indikator penting dalam mempersiapkan guru profesional yang mampu menghadapi tantangan pendidikan di era transformasi digital.

Penerapan konsep tersebut mulai terlihat melalui penggunaan Learning Management System, media pembelajaran digital, simulasi virtual, serta kecerdasan buatan (Artificial Intelligence/AI) yang dimanfaatkan mahasiswa untuk menyusun perangkat pembelajaran, mencari referensi, dan mengembangkan rancangan pembelajaran (Hastomo et al., 2024). Learning Management System memberikan kemudahan dalam mengelola materi, penugasan, evaluasi, dan komunikasi antara dosen dengan mahasiswa maupun antara guru dengan peserta didik. Media pembelajaran digital, seperti video interaktif, presentasi multimedia, infografis, dan aplikasi pembelajaran, memungkinkan penyampaian materi menjadi lebih menarik dan mudah dipahami. Simulasi virtual memberikan pengalaman belajar yang lebih autentik, terutama pada materi yang sulit diamati secara langsung, sehingga membantu meningkatkan pemahaman konseptual mahasiswa.

Sementara itu, pemanfaatan Artificial Intelligence (AI) semakin berkembang dalam mendukung penyusunan rencana pembelajaran, pengembangan soal, pencarian referensi ilmiah,

3

6

penyederhanaan konsep yang kompleks, hingga pemberian umpan balik terhadap hasil belajar. Kehadiran berbagai aplikasi berbasis AI, seperti chatbot pendidikan, generator materi pembelajaran, sistem penilaian otomatis, dan platform pembelajaran adaptif, telah memberikan alternatif baru bagi mahasiswa keguruan dalam mempersiapkan proses pembelajaran yang lebih efektif dan efisien. AI tidak hanya membantu mempercepat penyelesaian tugas-tugas administratif, tetapi juga memungkinkan mahasiswa memperoleh berbagai sumber informasi dalam waktu singkat, menyusun perangkat pembelajaran yang lebih sistematis, serta menghasilkan variasi metode dan media pembelajaran yang sesuai dengan karakteristik peserta didik. Dengan kemampuan menganalisis data dalam jumlah besar, AI juga mampu memberikan rekomendasi strategi pembelajaran berdasarkan kebutuhan belajar siswa sehingga proses pembelajaran menjadi lebih personal dan adaptif.

Dalam penyusunan perangkat pembelajaran, AI dapat dimanfaatkan untuk membantu merancang capaian pembelajaran, tujuan pembelajaran, indikator pencapaian kompetensi, materi ajar, aktivitas pembelajaran, hingga instrumen evaluasi. Mahasiswa tidak lagi memulai seluruh proses penyusunan dari awal, tetapi dapat memanfaatkan AI sebagai mitra yang memberikan alternatif rancangan pembelajaran yang kemudian disesuaikan dengan karakteristik mata pelajaran, kurikulum, dan kebutuhan peserta didik. Pemanfaatan AI dalam tahap perencanaan juga dapat meningkatkan efisiensi waktu sehingga mahasiswa memiliki kesempatan lebih besar untuk melakukan refleksi, revisi, dan pengembangan perangkat pembelajaran secara lebih mendalam. Meskipun demikian, rancangan yang dihasilkan AI tidak dapat langsung digunakan tanpa proses penelaahan karena AI masih memiliki keterbatasan dalam memahami konteks lokal, karakteristik sekolah, budaya belajar, maupun kebutuhan individual peserta didik.

Selain mendukung perencanaan pembelajaran, AI juga memberikan kontribusi yang signifikan dalam pengembangan bahan ajar yang lebih inovatif. Mahasiswa dapat memanfaatkan AI untuk menghasilkan ringkasan materi, ilustrasi pembelajaran, studi kasus, contoh kontekstual, maupun aktivitas pembelajaran berbasis proyek yang lebih bervariasi. Teknologi ini juga mampu membantu penyederhanaan konsep-konsep ilmiah yang kompleks menjadi penjelasan yang lebih mudah dipahami sesuai dengan tingkat perkembangan kognitif peserta didik. Dengan demikian, mahasiswa memiliki peluang lebih besar untuk menciptakan pembelajaran yang menarik, komunikatif, dan relevan dengan kehidupan sehari-hari. Pemanfaatan AI juga mendorong mahasiswa untuk lebih kreatif dalam mengembangkan media pembelajaran digital yang mengombinasikan teks, gambar, audio, video, simulasi, maupun animasi interaktif sehingga pengalaman belajar peserta didik menjadi lebih bermakna.

Pada aspek evaluasi pembelajaran, AI mampu membantu mahasiswa dalam menyusun berbagai bentuk instrumen penilaian, mulai dari soal pilihan ganda, uraian, studi kasus, hingga rubrik penilaian berbasis kompetensi. AI juga dapat menghasilkan variasi soal dengan tingkat kesulitan yang berbeda sehingga mahasiswa dapat menyusun asesmen yang lebih komprehensif. Selain itu, teknologi AI mulai digunakan untuk memberikan umpan balik secara otomatis terhadap hasil pekerjaan peserta didik. Umpan balik yang cepat memungkinkan peserta didik mengetahui kesalahan yang dilakukan dan segera melakukan perbaikan sehingga proses pembelajaran berlangsung secara lebih efektif. Bagi mahasiswa keguruan, kemampuan memanfaatkan AI dalam proses evaluasi dapat meningkatkan efisiensi sekaligus memberikan kesempatan lebih besar untuk menganalisis hasil belajar secara lebih mendalam daripada hanya berfokus pada proses koreksi secara manual.

Di sisi lain, AI juga memberikan kemudahan dalam kegiatan akademik mahasiswa melalui akses yang lebih luas terhadap referensi ilmiah. Berbagai sistem berbasis AI mampu membantu menemukan artikel yang relevan, merangkum hasil penelitian, membandingkan berbagai teori, hingga membantu menyusun kerangka konseptual penelitian. Kemampuan tersebut sangat membantu mahasiswa dalam mengembangkan wawasan akademik dan mempercepat proses pencarian informasi. Namun demikian, mahasiswa tetap harus memiliki kemampuan literasi informasi yang baik agar mampu membedakan sumber ilmiah yang kredibel dengan informasi yang kurang dapat dipertanggungjawabkan. Informasi yang dihasilkan AI tidak selalu bebas dari kesalahan faktual, bias, maupun interpretasi yang kurang tepat sehingga proses verifikasi melalui sumber-sumber ilmiah yang terpercaya tetap menjadi bagian yang tidak dapat diabaikan.

Walaupun demikian, penggunaan AI tetap memerlukan kemampuan berpikir kritis, evaluatif, dan etis agar informasi yang dihasilkan dapat diverifikasi serta digunakan secara bertanggung jawab.

2

AI pada dasarnya merupakan alat bantu yang bekerja berdasarkan data yang tersedia sehingga hasil yang diberikan sangat bergantung pada kualitas data, algoritma, dan perintah yang diberikan oleh pengguna. Oleh karena itu, mahasiswa tidak dapat menerima seluruh keluaran AI secara langsung tanpa melakukan analisis kritis terhadap ketepatan konsep, relevansi materi, maupun kesesuaiannya dengan tujuan pembelajaran. Kemampuan berpikir kritis menjadi sangat penting agar mahasiswa mampu mengevaluasi keakuratan informasi, mengidentifikasi potensi bias, serta menyesuaikan hasil yang diberikan AI dengan konteks pembelajaran yang sebenarnya. Selain itu, kemampuan evaluatif diperlukan agar mahasiswa mampu menentukan apakah rekomendasi yang dihasilkan AI benar-benar sesuai dengan karakteristik peserta didik, kurikulum yang berlaku, dan tujuan pembelajaran yang ingin dicapai.

Aspek etika juga menjadi perhatian utama dalam pemanfaatan AI di lingkungan pendidikan. Mahasiswa harus memahami bahwa penggunaan AI tidak boleh mengurangi integritas akademik, mendorong praktik plagiarisme, atau menggantikan proses berpikir mandiri. AI seharusnya dimanfaatkan sebagai alat pendukung untuk memperkaya proses belajar, bukan sebagai pengganti kemampuan analitis dan kreativitas manusia. Mahasiswa juga perlu memperhatikan aspek privasi data, keamanan informasi, hak cipta, serta transparansi dalam penggunaan AI, terutama ketika teknologi tersebut digunakan untuk mengolah data peserta didik atau menghasilkan materi pembelajaran yang akan dipublikasikan. Kesadaran etis ini menjadi bagian penting dalam membentuk profesionalisme calon guru yang bertanggung jawab terhadap penggunaan teknologi di lingkungan pendidikan.

Perkembangan kecerdasan buatan membawa perubahan yang semakin besar dalam pendidikan guru karena memberikan banyak kemudahan dalam proses belajar dan penyusunan pembelajaran (Hastomo *et al.*, 2024). AI mampu membantu mahasiswa memperoleh informasi secara cepat, membuat rancangan pembelajaran, menghasilkan media pembelajaran, serta memberikan berbagai alternatif penyelesaian masalah sehingga waktu yang diperlukan untuk menyelesaikan tugas menjadi lebih efisien (Karina & Kastuhandani, 2024). Namun sebaliknya, penggunaan AI yang tidak disertai pemahaman yang baik dapat mengurangi kemampuan mahasiswa dalam berpikir kritis, menganalisis informasi, serta menyusun gagasan secara mandiri (Shafira *et al.*, 2025). Maka dari itu, AI yang digunakan dengan tepat dapat memberikan manfaat yang besar bagi pendidikan guru pada masa mendatang, sedangkan penggunaan yang kurang tepat dapat berdampak pada perkembangan kemampuan pedagogik, teknologi, dan keilmuan yang menjadi bagian utama dalam TPACK (Karina & Kastuhandani, 2024). Beberapa strategi yang dapat diterapkan yaitu meningkatkan literasi AI, pemahaman etika penggunaan teknologi, serta pembelajaran yang tetap mendorong mahasiswa menyusun ide dan menyelesaikan masalah secara mandiri, yang mampu membantu calon guru memanfaatkan AI secara tepat tanpa mengurangi kemampuan profesional yang harus dimiliki (Hastomo *et al.*, 2024).

4. Simpulan

Secara keseluruhan, dapat disimpulkan bahwa penerapan pedagogik, teknologi, dan keilmuan dalam pendidikan guru telah menjadi bagian yang mendukung pengembangan kompetensi mahasiswa keguruan melalui pendekatan *Technological Pedagogical Content Knowledge* (TPACK). Penguasaan teknologi pada mahasiswa ilmu pendidikan umumnya berkembang lebih baik dibandingkan kemampuan menghubungkan teknologi dengan pedagogik dan penguasaan materi, sehingga ketiga komponen masih harus lebih dikembangkan secara seimbang agar mampu mendukung pembelajaran yang sesuai dengan kebutuhan pendidikan masa kini. Selain itu, perkembangan teknologi digital dan kecerdasan buatan juga memberikan kesempatan untuk meningkatkan kualitas pendidikan guru, tetapi pemanfaatannya perlu disertai kemampuan berpikir kritis, penguasaan materi, kemampuan mengajar, serta pemahaman mengenai penggunaan teknologi secara bertanggung jawab. Namun, penelitian ini masih memiliki keterbatasan karena hanya bersifat literatur sehingga pembahasannya belum dapat memberikan gambaran perkembangan TPACK pada seluruh jenjang pendidikan, bidang studi, maupun perkembangan teknologi yang lebih beragam. Maka dari itu, penelitian selanjutnya disarankan dapat melibatkan lebih banyak negara dan bidang ilmu, serta membahas perkembangan teknologi terbaru, serta mengambil data lapangan langsung, sehingga dapat memberikan gambaran yang lebih lengkap mengenai pengembangan TPACK pada masa mendatang.

Referensi

- Backfisch, I., Franke, U., Ohla, K., Scholtz, N., & Lachner, A. (2023). Collaborative design practices in pre-service teacher education for technological pedagogical content knowledge (TPACK): Group composition matters. *Unterrichtswissenschaft*, 51(4), 579–604. <https://doi.org/10.1007/s42010-023-00192-z>
- Barak, M. (2016). Science Teacher Education in the Twenty-First Century: a Pedagogical Framework for Technology-Integrated Social Constructivism. *Research in Science Education*, 47, 283–303. <https://doi.org/10.1007/s11165-015-9501-y>
- Budiana, I. (2022). Menjadi guru profesional di era digital. *JIEBAR: Journal of Islamic Education: Basic and Applied Research*, 2(2), 144–161. <https://doi.org/10.33853/jiebar.v2i2.234>
- Chang, C.-F., Annisa, N., & Chen, K.-Z. (2024). Pre-service teacher professional education program (PPG) and Indonesian science teachers' TPACK development: A career-path comparative study. *Education and Information Technologies*, 30(7), 8689–8711. <https://doi.org/10.1007/s10639-024-13160-6>
- Chanwaiwit, P. (2025). Influence of teacher dispositions on TPACK: Insights from pre-service EFL teacher education. *Indonesian Journal of Applied Linguistics*, 15(2), 359–374. <https://doi.org/10.17509/tt54xq47>
- Cheng, J., Hall, J. A., Wang, Q., & Lei, J. (2024). More than high, medium, and low: Pre-service teacher TPACK profiles and intentions to teach with technology. *Education and Information Technologies*, 29(18), 24387–24413. <https://doi.org/10.1007/s10639-024-12793-x>
- Diamah, A., Rahmawati, Y., Paristiowati, M., Fitriani, E., Irwanto, I., Dobson, S., & Sevilla, D. (2022). Evaluating the effectiveness of technological pedagogical content knowledge-based training program in enhancing pre-service teachers' perceptions of technological pedagogical content knowledge. *Frontiers in Education*, 7. <https://doi.org/10.3389/feduc.2022.897447>
- Dinçer, S. (2024). Bridging the gap in technology integration in education: An examination of science teachers' competencies and needs. *Journal of Turkish Science Education*. <https://doi.org/10.36681/tused.2024.033>
- Dogan, S., Nalbantoglu, U. Y., Celik, I., & Agacli Dogan, N. (2025). Artificial intelligence professional development: A systematic review of TPACK, designs, and effects for teacher learning. *Professional Development in Education*, 51(3), 519–546. <https://doi.org/10.1080/19415257.2025.2454457>
- Engin, R. A., Karakuş, D., & Niess, M. L. (2023). TPACK development model for pre-service mathematics teachers. *Education and Information Technologies*, 28(4), 4769–4794. <https://doi.org/10.1007/s10639-022-11381-1>
- Hastomo, T., Mandasari, B., & Widiati, U. (2024). Scrutinizing Indonesian pre-service teachers' technological knowledge in utilizing AI-powered tools. *Journal of Education and Learning (EduLearn)*, 18(4), 1572–1581. <https://doi.org/10.11591/edulearn.v18i4.21644>
- Karina, B. D., & Kastuhandani, F. C. (2024). Pre-Service english teachers' lived experience in using AI in teaching preparation. *Edunesia: Jurnal Ilmiah Pendidikan*, 5(1), 550–568. <https://doi.org/10.51276/edu.v5i1.767>
- Lachner, A., Fabian, A., Franke, U., Preiß, J., Jacob, L., Führer, C., Küchler, U., Paravicini, W., Randler, C., & Thomas, P. (2021). Fostering pre-service teachers' technological pedagogical content knowledge (TPACK): A quasi-experimental field study. *Computers & Education*, 174. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2021.104304>
- Merdekawaty, A., Erma Suryani, & Nurhairunnisah. (2024). Analisis kompetensi pedagogik mahasiswa calon guru dalam menerapkan Kurikulum Merdeka. *Titian Ilmu: Jurnal Ilmiah Multi Sciences*, 16(2), 103–109. <https://doi.org/10.30599/jti.v16i2.3440>
- Milner-Bolotin, M., & Martinovic, D. (2025). Creative approaches for 21st-century Science, Technology, Engineering, and Mathematics teacher education: From theory to practice to policy. *Future in Educational Research*. <https://doi.org/10.1002/fer3.70>
- Mishra, P., & Koehler, M. J. (2006). Technological pedagogical content knowledge: A framework for teacher knowledge. *Teachers College Record: The Voice of Scholarship in Education*, 108(6).

- <https://doi.org/10.1177/016146810610800610>
- Panakaje, N., Rahiman, H. U., Parvin, S., P., S., K., M., Y., & Irfana, S. (2024). Revolutionizing pedagogy: navigating the integration of technology in higher education for teacher learning and performance enhancement. *Cogent Education*, 11. <https://doi.org/10.1080/2331186x.2024.2308430>
- Qadrianty, N., Dollah, S., & A. Muliati. (2024). An analysis of pedagogical competence of pre-service teacher professional education (PPG-Prajabatan) teacher. *ARRUS Journal of Social Sciences and Humanities*, 4(3), 300–309. <https://doi.org/10.35877/soshum2562>
- Santos, J. M., & Castro, R. D. R. (2021). Technological Pedagogical content knowledge (TPACK) in action: Application of learning in the classroom by pre-service teachers (PST). *Social Sciences & Humanities Open*, 3(1), 100110. <https://doi.org/10.1016/j.ssaho.2021.100110>
- Sari, V. P., Juita, D. N., & Farokhah, L. (2026). A TPACK-based analysis of pre-service primary teachers' understanding of pancasila and civic education. *Pedagogik Journal of Islamic Elementary School*, 9(1), 1–14. <https://doi.org/10.24256/pijies.v9i1.9351>
- Sayadi, D. S., & Pangandaman, H. (2025). Technology-Enhanced Science Teaching for 21st-Century Learning: A Systematic Review of Evidence-Based Strategies and Their Alignment with SDG 4. *Jurnal Pendidikan IPA Indonesia*. <https://doi.org/10.15294/jpii.v14i3.29379>
- Shafira, D. D., Kusuma, W. J., & Subiyanto, S. (2025). Pemanfaatan artificial intelligence (AI) sebagai sumber pembelajaran untuk membentuk kemampuan berpikir kritis mahasiswa FKIP Universitas Pancasakti Tegal. *Jurnal Education and Development*, 13(3), 326–330. <https://doi.org/10.37081/ed.v13i3.7496>
- Silva-Díaz, F., Marfil-Carmona, R., Narváez, R., Fuentes, A. S., & Carrillo-Rosúa, J. (2023). Introducing Virtual Reality and Emerging Technologies in a Teacher Training STEM Course. *Education Sciences*. <https://doi.org/10.3390/educsci13101044>
- Sulfanjanti, A. P., Dewi, N. R., & Juwanda, K. (2026). Analysis of Pre-Service Science Teachers' Ability to Integrate Technological Pedagogical Content Knowledge in Teaching Modules. *Jurnal Pendidikan Sains Indonesia*. <https://doi.org/10.24815/jpsi.v14i1.373>
- Tanak, A. (2018). Designing TPACK-based course for preparing student teachers to teach science with technological pedagogical content knowledge. *Kasetsart Journal of Social Sciences*. <https://doi.org/10.1016/j.kjss.2018.07.012>
- Theodorio, A. O. (2024). Examining the support required by educators for successful technology integration in teacher professional development program. *Cogent Education*, 11. <https://doi.org/10.1080/2331186x.2023.2298607>
- Torraco, R. J. (2016). Writing integrative reviews of the literature. *International Journal of Adult Vocational Education and Technology*, 7(3), 62–70. <https://doi.org/10.4018/ijavet.2016070106>
- Voithofer, R., & Nelson, M. J. (2020). Teacher Educator Technology Integration Preparation Practices Around TPACK in the United States. *Journal of Teacher Education*, 72, 314 - 328. <https://doi.org/10.1177/0022487120949842>
- Weisberg, L., & Dawson, K. (2023). The Intersection of Equity Pedagogy and Technology Integration in Preservice Teacher Education: A Scoping Review. *Journal of Teacher Education*, 74, 327 - 342. <https://doi.org/10.1177/00224871231182129>
- Widiyatmoko, A., Indriyanti, D. R., Sovansopha, K., Darmawan, M. S., & Wulandari, T. D. (2025). Analysis of pre-service science teachers' technological pedagogical content knowledge (TPACK) ability in online learning. *Journal of Innovation in Educational and Cultural Research*, 6(3), 549–557. <https://doi.org/10.46843/jiecr.v6i3.1121>
- Yilmaz, A. (2021). The Effect of Technology Integration in Education on Prospective Teachers' Critical and Creative Thinking, Multidimensional 21st Century Skills and Academic Achievements. 163-199. <https://doi.org/10.17275/per.21.35.8.2>
- Zulfa, P. I., Ni'mah, M., & Amalia, N. F. (2023). Implementasi media pembelajaran berbasis teknologi IT dalam mengatasi keterbatasan pendidikan di era 5.0 pada sekolah dasar. *eL Bidayah: Journal of Islamic Elementary Education*, 5(1), 1–15. <https://doi.org/10.33367/jiee.v5i1.3533>