

---

## **TPACK Dalam Pembelajaran Sains Abad 21: *Systematic Literature Review***

**St. Fatima Kadir, Arifah Novia Arifin\*, Nurul Afifah Ahqaf, Muarifah**

Program Studi S2 Pendidikan Biologi, Universitas Negeri Makassar, Jl. Bonto Langkasa Gunungsari Baru, Makassar, Indonesia

\*Corresponding Author: [arifahnoviaarifin@unm.ac.id](mailto:arifahnoviaarifin@unm.ac.id)

### **Article History**

Received : November 12<sup>th</sup>, 2025

Revised : November 23<sup>th</sup>, 2025

Accepted : December 20<sup>th</sup>, 2025

**Abstract:** Penelitian ini bertujuan untuk meninjau secara sistematis *Technological Pedagogical Content Knowledge* (TPACK) dalam pembelajaran sains abad ke-21 yang mencakup 4C (*Critical Thinking, Creativity, Communication, dan Collaboration*). Penelitian ini menggunakan metode *Systematic Literature Review* (SLR) terhadap 31 artikel yang dipublikasikan antara tahun 2023 hingga 2025 melalui basis data Scopus. Hasil kajian menunjukkan bahwa tren penelitian TPACK dalam pembelajaran sains mengalami peningkatan selama tiga tahun terakhir, yang mencerminkan meningkatnya perhatian terhadap integrasi teknologi, pedagogi, dan konten dalam pendidikan abad ke-21. Analisis juga mengungkapkan bahwa *Technological Pedagogical Content Knowledge* (TPACK) berkontribusi signifikan terhadap penguatan keterampilan abad ke-21 melalui pembelajaran berbasis proyek, penggunaan teknologi inovatif seperti augmented reality (AR), virtual laboratory, dan artificial intelligence (AI), serta strategi pedagogis yang berpusat pada peserta didik. Secara keseluruhan dapat disimpulkan bahwa penerapan *Technological Pedagogical Content Knowledge* (TPACK) terbukti dapat mendorong pembelajaran sains yang lebih interaktif, kolaboratif, dan kontekstual, sekaligus memperkuat kompetensi berpikir kritis, kreatif, komunikatif, dan kolaboratif peserta didik.

**Keywords:** Systematic Literature Review, TPACK, Pembelajaran Sains, Keterampilan Abad ke-21 (4C).

## **PENDAHULUAN**

Perkembangan teknologi digital telah membawa perubahan besar dalam berbagai aspek kehidupan, termasuk bidang pendidikan. Kehadiran teknologi informasi dan komunikasi membuka peluang baru dalam praktik pembelajaran yang lebih interaktif, fleksibel, dan kontekstual (Mishra & Koehler, 2006). Transformasi digital ini menuntut dunia pendidikan untuk beradaptasi dengan cepat agar mampu menyiapkan peserta didik menghadapi tantangan global dan perubahan abad ke-21. Pergeseran paradigma pembelajaran abad ke-21 menuntut peralihan dari pembelajaran yang berpusat pada guru (*teacher-centered learning*) menuju pembelajaran yang berpusat pada siswa (*student-centered learning*) (Abdullah & Mahmud, 2024). Dalam konteks ini, peserta didik tidak lagi diposisikan hanya sebagai penerima informasi, melainkan sebagai subjek aktif yang terlibat dalam proses pencarian, pemaknaan, dan penerapan pengetahuan. Perubahan paradigma tersebut mendorong perlunya pendekatan pedagogis yang inovatif dan berorientasi pada

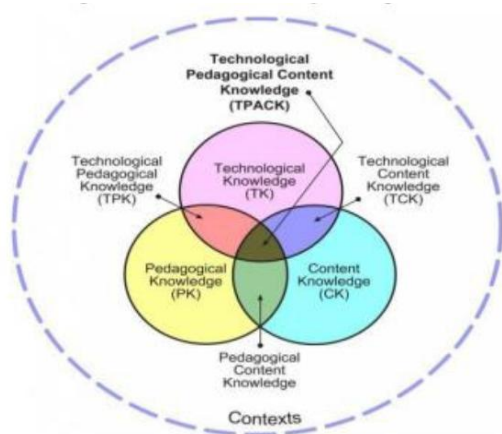
pengembangan keterampilan berpikir tingkat tinggi.

Keterampilan abad ke-21 atau yang dikenal dengan 4C (*Critical Thinking, Creativity, Communication, dan Collaboration*) menjadi kompetensi kunci yang harus dimiliki peserta didik agar mampu bersaing di era global (Sahak, 2022 dalam Abdullah & Mahmud, 2024). Pembelajaran sains memiliki peran strategis dalam mengembangkan keempat keterampilan tersebut karena karakteristiknya yang menekankan pada berpikir ilmiah, pemecahan masalah, dan eksplorasi berbasis bukti (Yanti *et al.*, 2024). Melalui kegiatan *hands-on* dan *minds-on*, pembelajaran sains tidak hanya melibatkan aktivitas fisik siswa, tetapi juga mendorong mereka berpikir kritis dan reflektif terhadap fenomena yang diamati.

Meskipun demikian, guru sains masih menghadapi tantangan dalam mengintegrasikan teknologi ke dalam pembelajaran. Banyak guru masih menerapkan metode konvensional yang berpusat pada ceramah dan belum sepenuhnya memanfaatkan potensi teknologi digital untuk memperkaya proses belajar. Keterbatasan

kemampuan pedagogis berbasis teknologi, kurangnya fasilitas, serta minimnya pelatihan profesional menjadi kendala dalam menciptakan pembelajaran sains yang interaktif dan relevan dengan kebutuhan abad ke-21 (Gunanto & Supriyadi, 2021).

Seiring dengan tantangan tersebut, konsep *Technological Pedagogical Content Knowledge* (TPACK) yang dikembangkan oleh Mishra & Koehler (2006) muncul sebagai pendekatan konseptual integratif antara teknologi, pedagogi, dan konten. TPACK menegaskan bahwa pengetahuan guru tidak hanya mencakup penguasaan materi dan strategi mengajar, tetapi juga kemampuan mengintegrasikan teknologi secara tepat dalam konteks pembelajaran tertentu. Dalam konteks pembelajaran sains, penerapan TPACK memungkinkan guru mengombinasikan konsep ilmiah dengan teknologi digital untuk membangun pengalaman belajar yang bermakna dan memfasilitasi keterampilan abad ke-21 (Abdullah & Mahmud, 2024; Yanti *et al.*, 2024). Kerangka TPACK disajikan pada Gambar 1 berikut.



**Gambar 1.** Kerangka TPACK

Tiga komponen utama dalam kerangka TPACK, yaitu *Technological Knowledge* (TK), *Pedagogical Knowledge* (PK), dan *Content Knowledge* (CK), saling berinteraksi membentuk empat bentuk pengetahuan baru, yakni *Pedagogical Content Knowledge* (PCK), *Technological Content Knowledge* (TCK), *Technological Pedagogical Knowledge* (TPK), dan *Technological Pedagogical Content Knowledge* (TPACK). PCK menjadi dasar strategi pembelajaran, TCK menggambarkan pemanfaatan teknologi untuk representasi materi ajar, sedangkan TPK menjelaskan bagaimana

teknologi memengaruhi cara guru mengajar dan mengelola kegiatan belajar. TPACK merupakan integrasi ketiganya secara utuh (Nasar & Daud, 2020). Keterampilan abad ke-21 atau 4C (*Critical Thinking, Creativity, Communication, dan Collaboration*) menjadi inti dari pembelajaran berbasis TPACK. Guru yang menguasai TPACK mampu merancang pembelajaran sains berbasis teknologi yang mendorong siswa berpikir kritis, berkomunikasi efektif, berkolaborasi, dan berinovasi dalam memecahkan masalah ilmiah (Amrullah, 2023; Sulistyarini *et al.*, 2022).

Berbagai penelitian telah membuktikan efektivitas TPACK dalam meningkatkan kompetensi pedagogik dan kemampuan teknologi guru. Sebagian besar studi tersebut masih berfokus pada aspek kemampuan guru secara umum dan belum menyoroti keterkaitan langsung antara penerapan TPACK dengan pengembangan keterampilan abad ke-21 (4C) dalam pembelajaran sains. Kajian sistematis mengenai penerapan TPACK dalam pembelajaran sains diperlukan untuk memetakan tren, temuan empiris, dan kontribusinya terhadap pengembangan keterampilan abad ke-21. Berdasarkan hal tersebut, penelitian ini bertujuan menelaah secara sistematis bagaimana peran TPACK dalam pembelajaran sains abad ke-21 untuk mendukung pengembangan keterampilan 4C melalui tinjauan literatur sistematis.

## METODE

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah *Systematic Literature Review* (SLR). Metode *Systematic Literature Review* (SLR) merupakan metode yang digunakan untuk mengidentifikasi, menilai, dan menginterpretasikan secara komprehensif seluruh temuan penelitian yang relevan dengan suatu topik, guna memperoleh jawaban atas pertanyaan penelitian yang telah dirumuskan (Nursalam *et al.*, 2020). Pendekatan *Systematic Literature Review* (SLR) mencakup proses evaluasi dan identifikasi berbagai jurnal secara teliti dengan mengikuti pedoman atau prosedur yang telah ditetapkan pada setiap tahapannya. Teknik ini berfokus pada proses penelusuran dan analisis terhadap berbagai literatur ilmiah yang relevan dengan tujuan untuk memperoleh pemahaman yang lebih mendalam mengenai perkembangan ilmu pengetahuan dalam bidang kajian tertentu (Akmal *et al.*, 2025). Penelitian

ini dibagi menjadi beberapa tahap, yaitu perumusan pertanyaan penelitian, pencarian literatur, penyaringan literatur, dan analisis data.

#### a. Perumusan pertanyaan penelitian

Tahap perumusan pertanyaan penelitian merupakan langkah penting yang menjadi dasar dan arah dalam pelaksanaan tinjauan literatur sistematis. Pertanyaan penelitian disusun untuk memandu proses pencarian, seleksi, dan analisis literatur agar tetap fokus pada tujuan kajian yang telah ditetapkan. Melalui perumusan pertanyaan ini, peneliti dapat menelaah secara mendalam berbagai temuan yang relevan mengenai penerapan TPACK dan kontribusinya terhadap pengembangan keterampilan abad ke-21. Dalam penelitian ini, pertanyaan penelitian (*Research Questions*) yang dirumuskan meliputi:

**RQ1:** Bagaimana tren penelitian TPACK dalam pembelajaran sains abad ke-21 selama tiga tahun terakhir?

**RQ2:** Apa kontribusi dan informasi penting yang dapat diperoleh dari setiap artikel terkait TPACK dalam pembelajaran sains abad ke-21?

#### b. Pencarian literatur

Setelah menetapkan pertanyaan penelitian, tahap selanjutnya adalah pencarian literatur. Pada tahap ini, peneliti mulai memasukkan kata kunci yang relevan untuk menemukan artikel ilmiah yang sesuai dengan fokus kajian. Proses penelusuran dilakukan melalui basis data Scopus karena dianggap memiliki kredibilitas tinggi dan mencakup berbagai jurnal internasional bereputasi. Strategi pencarian disusun dengan menggunakan operator Boolean guna mengoptimalkan hasil pencarian. Istilah dalam setiap kelompok kata kunci dipisahkan dengan operator “OR”, sedangkan penggabungan antarkelompok dilakukan menggunakan “AND” sebagaimana yang dijelaskan oleh Ardoin dan Bowers (2020). Adapun kombinasi kata kunci yang peneliti gunakan yaitu ("TPACK" OR "Technological Pedagogical Content Knowledge") AND ("21st century skills" OR "critical thinking skill" OR "collaboration skill" OR "creativity skill" OR "communication skill") OR ("education"). Strategi ini membantu peneliti memperoleh literatur yang relevan dengan topik penerapan

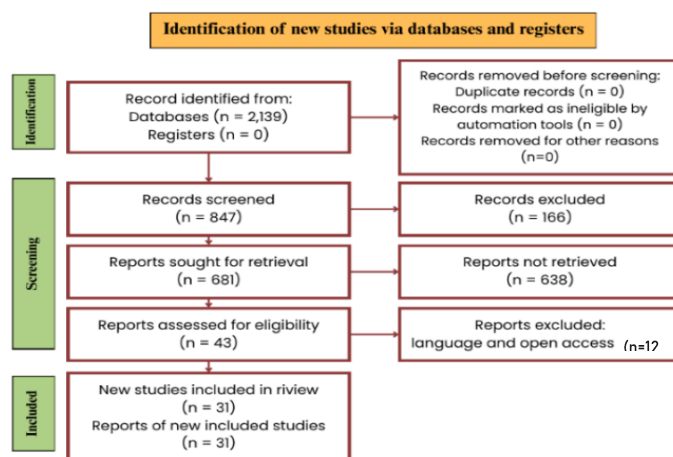
TPACK dalam pembelajaran sains untuk pengembangan keterampilan abad ke-21.

#### c. Penyaringan literatur

Tahap penyaringan literatur merupakan tahap mengumpulkan dan memilah sumber-sumber penelitian yang sesuai dengan topik yang akan diteliti (Akmal *et al.*, 2025). Pada tahap ini, peneliti tidak hanya mengumpulkan literatur yang sesuai, tetapi juga melakukan proses seleksi yang ketat untuk menyingkirkan artikel yang tidak memenuhi kriteria penelitian. Oleh karena itu, setiap artikel yang ditemukan melalui pencarian awal kemudian disaring menggunakan tabel inklusi dan eksklusi serta dilakukan penilaian mutu untuk menjamin validitas dan reliabilitas sumber yang dipilih.

Proses penelusuran dan seleksi literatur dilakukan secara sistematis dengan mengacu pada pedoman *Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses* (PRISMA). Berdasarkan hasil pencarian melalui basis data Scopus, diperoleh sebanyak 2.139 dokumen awal. Tahap penyaringan pertama dilakukan berdasarkan tahun publikasi dengan batas waktu tiga tahun terakhir (2023–2025) sehingga jumlah dokumen berkurang menjadi 847 artikel. Selanjutnya, proses seleksi dilanjutkan dengan penyaringan berdasarkan bidang kajian (*subject area*), di mana peneliti hanya memilih bidang *Social Sciences* sehingga tersisa 681 dokumen.

Pada tahap berikutnya, dilakukan penyaringan jenis dokumen (*document type*), di mana peneliti memilih artikel (*article*) dan diperoleh 541 artikel. Setelah itu, dilakukan penyaringan berdasarkan kata kunci tambahan (*keywords*), yaitu *Technological Pedagogical Content Knowledge* (TPACK), *science education*, *systematic literature review*, dan *21st century skills*, sehingga menghasilkan 43 artikel yang lebih relevan dengan fokus penelitian. Tahap akhir dilakukan dengan menerapkan filter bahasa (*English*) dan akses terbuka (*open access*) sehingga diperoleh 31 artikel akhir yang digunakan dalam kajian ini. Proses penyaringan literatur yang telah dijelaskan sebelumnya divisualisasikan dalam bentuk diagram PRISMA. Diagram alur PRISMA tersebut dapat dilihat pada Gambar 2 berikut.



**Gambar 2.** Diagram alur PRISMA

#### d. Analisis data

Pada tahap ini, peneliti melaksanakan analisis data terhadap artikel-artikel yang telah ditetapkan sebagai sumber kajian. Proses analisis diarahkan pada hasil-hasil penelitian yang membahas Tren penelitian TPACK dalam pembelajaran sains abad ke-21 dan kontribusi TPACK terhadap pembelajaran sains abad 21 (4C).

### HASIL DAN PEMBAHASAN

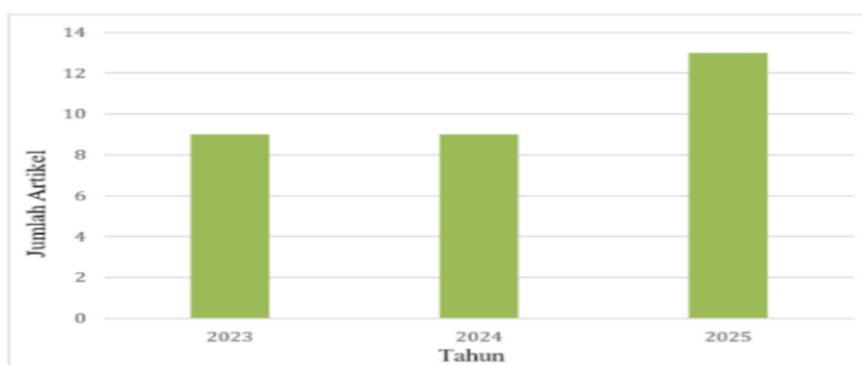
Bagian ini menyajikan hasil dan pembahasan dari 31 artikel yang dianalisis melalui metode *Systematic Literature Review* (SLR). Analisis difokuskan pada 2 aspek utama,

yaitu Tren penelitian TPACK dalam pembelajaran sains abad ke-21 selama 3 tahun terakhir (tren publikasi 3 tahun terakhir, hubungan atarpenulis, hubungan antarnegara dan tren jenis penelitian) dan Kontribusi dan informasi penting yang dapat diperoleh dari setiap artikel terkait TPACK dalam pembelajaran sains abad 21 (4C).

#### RQ 1: Tren penelitian TPACK dalam pembelajaran sains abad ke-21 selama 3 tahun terakhir

##### a. Tren Publikasi 3 tahun terakhir

Diagram Tren publikasi 3 tahun terakhir dapat dilihat pada Gambar 3 berikut.



**Gambar 3.** Tren Publikasi 3 tahun terakhir

Berdasarkan Gambar 3, tren publikasi penelitian mengenai TPACK dalam pembelajaran sains abad ke-21 menunjukkan adanya peningkatan selama tiga tahun terakhir (2023–2025). Pada tahun 2023 dan 2024, jumlah publikasi yang ditemukan masing-masing berjumlah 9 artikel, sedangkan pada tahun 2025

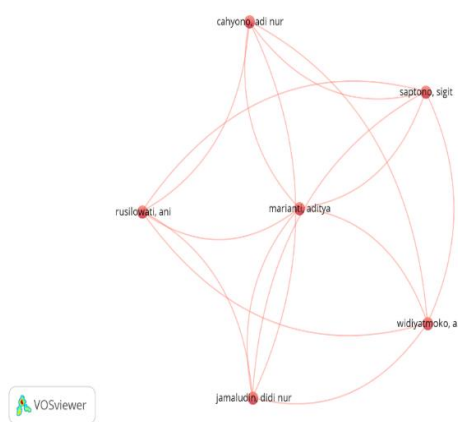
mengalami peningkatan menjadi 13 artikel. Peningkatan ini menunjukkan bahwa topik TPACK dalam konteks pembelajaran sains semakin banyak diminati oleh peneliti, seiring dengan meningkatnya perhatian terhadap penerapan kompetensi abad ke-21 (4C) dalam Pendidikan. Hal ini menandakan bahwa integrasi

teknologi, pedagogi, dan konten dianggap semakin penting untuk meningkatkan kualitas pembelajaran sains yang inovatif dan relevan dengan perkembangan zaman.

Temuan tren tersebut juga memperlihatkan bahwa arah penelitian pendidikan mulai bergerak ke ranah inovasi digital dan pedagogi berbasis teknologi, di mana guru dituntut untuk mampu merancang pengalaman belajar yang mengembangkan keterampilan berpikir kritis, kreatif, kolaboratif, dan komunikatif. Pandangan ini sejalan dengan penelitian Chai (2022) yang menyatakan bahwa penerapan TPACK berperan penting dalam mempersiapkan guru menghadapi tuntutan pembelajaran sains abad ke-21.

### b. Hubungan antar penulis

Analisis hubungan antar penulis dilakukan untuk mengidentifikasi sejauh mana keterkaitan dan kolaborasi antarpemula yang berkontribusi pada topik Penerapan TPACK dalam Pembelajaran Sains untuk Pengembangan Keterampilan Abad 21. Visualisasi dilakukan menggunakan perangkat lunak VOSviewer, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 4 berikut.



Gambar 4. Visualisasi antar penulis

Gambar 4 menunjukkan bahwa terdapat beberapa penulis yang memiliki keterhubungan cukup kuat, di antaranya Marianti Aditya, Cahyono Adi Nur, Rusilowati Ani, Jamaludin Didi Nur, Saptono Sigit, dan Widiyatmoko A. Node (lingkaran) mewakili masing-masing penulis, sedangkan garis penghubung (link) menunjukkan keterkaitan berdasarkan kemunculan bersama dalam topik penelitian yang sama. Dari hasil visualisasi, Marianti Aditya terlihat menjadi pusat jaringan, menandakan bahwa penulis ini berperan penting dalam

memperluas dan menghubungkan riset terkait penerapan TPACK.

Hasil ini menunjukkan bahwa jaringan penulis pada bidang TPACK dalam pembelajaran sains masih bersifat terbatas dan didominasi oleh kelompok riset tertentu. Artinya, kolaborasi antarpemula belum tersebar secara luas di berbagai institusi atau wilayah. Temuan ini sejalan dengan penelitian Putri *et al.* (2022) yang menyatakan bahwa jaringan peneliti TPACK di bidang pendidikan sains masih terkonsentrasi dalam kelompok kecil dan belum banyak terjadi kolaborasi lintas institusi maupun internasional. Selain itu, Machmud, Sidik, dan Ramadhan (2022) juga menegaskan bahwa meskipun tren publikasi TPACK di Indonesia meningkat, jejaring antarpemula masih belum membentuk struktur kolaboratif yang kuat dan menyebar luas.

### c. Hubungan antar negara

Analisis ini bertujuan untuk memetakan jaringan kolaborasi penelitian internasional berdasarkan keterhubungan publikasi dan afiliasi negara penulis. Visualisasi peta jaringan antarnegara memperlihatkan tingkat intensitas dan arah hubungan kolaboratif antarnegara yang berkontribusi dalam pengembangan penelitian di bidang tersebut. Visualisasi dilakukan menggunakan perangkat lunak VOSviewer, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 5 berikut.



Gambar 5. Visualisasi antarnegara

Gambar 5 menampilkan hasil pemetaan jaringan kolaborasi antarnegara yang dihasilkan melalui analisis bibliometrik menggunakan VOSviewer. Kolaborasi penelitian antarnegara masih terpusat pada beberapa negara utama dengan Amerika Serikat berperan sebagai pusat jaringan global. Ukuran simpul (*node*) yang besar dan banyaknya koneksi menandakan bahwa Amerika Serikat berfungsi sebagai *knowledge*

*hub* yaitu tempat pertukaran gagasan, teori, dan praktik riset lintas negara. Hubungan yang kuat dengan Turki, Irlandia, dan Korea Selatan mencerminkan kerja sama akademik yang intensif. Di sisi lain, China dan Hong Kong membentuk kluster tersendiri yang menunjukkan kolaborasi regional berbasis kedekatan geografis dan kebijakan penelitian yang sinergis. Pola ini menggambarkan struktur jaringan penelitian global yang multipolar dengan beberapa pusat dominan saling terhubung namun tidak

sepenuhnya seimbang dalam distribusi. Secara keseluruhan, hasil analisis memperlihatkan bahwa kolaborasi riset internasional masih didominasi oleh negara-negara dengan kapasitas riset tinggi seperti Amerika Serikat dan China, sementara negara lain berperan memperluas relevansi dan penerapan hasil riset di tingkat regional.

#### d. Tren Jenis Penelitian

**Tabel 1.** Tren Jenis Penelitian

No	Jenis penelitian	Jumlah Artikel	Penulis
1	Kajian konseptual	2	Mnisi, 2023; Feldman-Maggor <i>et al.</i> , 2025
2	Studi kasus kualitatif	5	Hsu <i>et al.</i> , 2023; Çam & Koç, 2024; Li & Lyublinskaya, 2025; Ryan <i>et al.</i> , 2024; Bae & Chong, 2024
3	Survei kuantitatif	3	Mnguni <i>et al.</i> , 2024; Polikarpus <i>et al.</i> , 2023; Shambare & Jita, 2024
4	Kuantitatif	4	Karlsen <i>et al.</i> , 2025; Abualrob & Al-Saadi, 2025; Alemán-Saravia <i>et al.</i> , 2023; Yanti <i>et al.</i> , 2024
5	Eksperimen kuantitatif	2	Krug <i>et al.</i> , 2023; Setyo <i>et al.</i> , 2023
6	Analisis bibliometrik	1	Santibañez <i>et al.</i> , 2025,
7	Systematic Literature Review (SLR)	4	Choi-Lundberg <i>et al.</i> , 2023; Purnama <i>et al.</i> , 2023; Zuhri <i>et al.</i> , 2024; Jamaludin <i>et al.</i> , 2024
8	Research & Development (R&D)	1	Kurniawan <i>et al.</i> , 2025
9	Kuasi-eksperimen	2	Meylani <i>et al.</i> , 2025; Liu <i>et al.</i> , 2025
10	SoTL–Design Based Research (DBR)	1	Class, 2024
11	Mixed-methods	2	Shambare & Jita, 2024; Stinken-Rösner <i>et al.</i> , 2023
12	Literatur Review	1	Willermark, 2025
13	Kualitatif naratif	2	Luo <i>et al.</i> , 2023; Bae & Chong, 2024

Berdasarkan analisis 31 artikel, tren jenis penelitian TPACK menunjukkan keragaman, mulai dari kajian konseptual, studi kasus kualitatif, survei kuantitatif, eksperimen, hingga systematic literature review (SLR). Studi konseptual dan literatur review banyak digunakan untuk membangun kerangka teoritis TPACK serta memahami integrasi teknologi, pedagogi, dan konten dalam pembelajaran sains abad-21 (Mnisi, 2023; Feldman-Maggor *et al.*, 2025). Studi kasus kualitatif dominan dalam meneliti pengalaman guru dan praktik pembelajaran nyata, terutama terkait penggunaan teknologi seperti AR, VR, dan laboratorium virtual untuk mendukung keterampilan abad-21 (Hsu *et al.*, 2023; Çam & Koç, 2024).

Metode kuantitatif dan eksperimen juga digunakan untuk mengukur efektivitas TPACK terhadap praktik mengajar guru dan hasil belajar siswa. Survei kuantitatif dan validasi instrumen memberikan data tentang kesiapan guru serta

akurasi pengukuran kompetensi TPACK (Mnguni *et al.*, 2024; Alemán-Saravia *et al.*, 2023). Systematic literature review (SLR) dan analisis bibliometrik menyoroti tren penelitian, distribusi geografis penulis, dan perkembangan topik TPACK dalam konteks sains abad-21 (Choi-Lundberg *et al.*, 2023; Santibañez *et al.*, 2025).

Secara keseluruhan, tren penelitian menunjukkan perpaduan metode kualitatif dan kuantitatif, dengan fokus pada pengembangan kerangka TPACK, profesionalisme guru, penggunaan teknologi digital, dan pengaruhnya terhadap hasil belajar siswa. Penelitian ini menegaskan bahwa TPACK tidak hanya menjadi model konseptual, tetapi juga diuji melalui berbagai metode empiris untuk memastikan relevansi dan efektivitasnya dalam konteks sains abad-21.

**RQ 2: Kontribusi dan informasi penting yang dapat diperoleh dari setiap artikel terkait**

## TPACK dalam pembelajaran sains abad ke-21.

**Tabel 2.** Kontribusi Dan Informasi Penting yang Dapat diperoleh dari Setiap Artikel Terkait TPACK Dalam Pembelajaran Sains Abad Ke-21

No	Topik Pembahasan	Penjelasan Pembahasan	Jumlah Artikel	Nama Penulisan
1	Konseptualisasi & Kerangka TPACK dalam Pembelajaran Sains Abad-21	TPACK memberikan kerangka konseptual untuk integrasi teknologi, pedagogi, dan konten sains; model TPACK membantu guru merancang pengalaman belajar yang relevan dan kreatif	5	Mnisi, 2023; Feldman-Maggor <i>et al.</i> , 2025; Willermark, 2025; Bae & Chong, 2024; Jamaludin <i>et al.</i> , 2024
2	Pengembangan Profesional Guru ( <i>Professional Development</i> )	Program pelatihan dan pengembangan profesional guru meningkatkan pemahaman TPACK, kemampuan mengintegrasikan teknologi dalam pembelajaran, dan mendorong kolaborasi serta refleksi praktik mengajar	4	Çam & Koç, 2024; Stinken-Rösner <i>et al.</i> , 2023; Karlsen <i>et al.</i> , 2025; Feldman-Maggor <i>et al.</i> , 2025
3	Teknologi & Alat Digital yang Diintegrasikan dalam Pembelajaran Sains	Penggunaan AR, VR, laboratorium virtual, dan media digital lain meningkatkan keterlibatan siswa, pemahaman konsep, serta pengembangan keterampilan abad-21 seperti berpikir kritis dan kreatif	7	Krug <i>et al.</i> , 2023; Hsu <i>et al.</i> , 2023; Shambare & Jita, 2024; Ryan <i>et al.</i> , 2024; Li & Lyublinskaya, 2025; Jamaludin <i>et al.</i> , 2024; Kurniawan <i>et al.</i> , 2025
4	Pengukuran dan Validasi Instrumen TPACK	Beberapa studi menekankan pentingnya validasi instrumen TPACK untuk memastikan reliabilitas dan akurasi pengukuran kemampuan guru dalam mengintegrasikan teknologi dengan konten dan pedagogi	2	Mnguni <i>et al.</i> , 2024; Alemán-Saravia <i>et al.</i> , 2023
5	Dampak Penerapan TPACK terhadap Praktik Guru & Hasil Belajar Siswa	Penerapan TPACK terbukti meningkatkan kualitas praktik mengajar guru dan hasil belajar siswa, terutama dalam pemahaman konsep sains dan keterampilan berpikir kritis	4	Setyo <i>et al.</i> , 2023; Meylani <i>et al.</i> , 2025; Liu <i>et al.</i> , 2025; Abualrob & Al-Saadi, 2025
6	Konteks Kultural, Sosial, dan Tren Penelitian TPACK	konteks sosial dan kultural memengaruhi penerapan TPACK; bibliometrik dan studi literatur mengungkap tren penelitian TPACK, adaptasi lokal, dan perbedaan pengembangan profesional di berbagai negara	9	Luo <i>et al.</i> , 2023; Santibañez <i>et al.</i> , 2025; Purnama <i>et al.</i> , 2023; Choi-Lundberg <i>et al.</i> , 2023; Jamaludin <i>et al.</i> , 2024; Willermark, 2025; Bae & Chong, 2024; Shambare & Jita, 2024; Ryan <i>et al.</i> , 2024

Berdasarkan Tabel 2, dapat diketahui bahwa TPACK berperan sebagai kerangka konseptual yang membantu guru mengintegrasikan teknologi, pedagogi, dan konten sains secara efektif. Beberapa artikel menekankan bahwa model TPACK memungkinkan guru merancang pengalaman belajar yang relevan dan kreatif, serta mendukung pembelajaran berbasis proyek dan eksplorasi (Mnisi, 2023; Feldman-Maggor *et al.*, 2025). Fokus pada konseptualisasi TPACK ini

menjadi dasar bagi penelitian lebih lanjut, termasuk pengembangan instrumen pengukuran dan validasi kompetensi guru dalam integrasi teknologi (Mnguni *et al.*, 2024; Alemán-Saravia *et al.*, 2023).

Selain itu, pengembangan profesional guru menjadi fokus penting dalam literatur, di mana program pelatihan dan workshop dapat meningkatkan pemahaman TPACK, kemampuan integrasi teknologi, serta mendorong kolaborasi dan refleksi praktik mengajar (Çam & Koç, 2024;

Stinken-Rösner *et al.*, 2023). Penggunaan teknologi dan alat digital seperti AR, VR, laboratorium virtual, dan media digital lainnya terbukti meningkatkan keterlibatan siswa, pemahaman konsep sains, serta keterampilan abad-21 seperti berpikir kritis dan kreatif (Krug *et al.*, 2023; Hsu *et al.*, 2023; Shambare & Jita, 2024).

Selain aspek teknis dan pedagogis, penelitian juga menekankan konteks kultural dan sosial dalam penerapan TPACK. Faktor budaya, sosial, dan perbedaan sumber daya memengaruhi implementasi TPACK di berbagai negara, sementara studi bibliometrik dan literatur review mengungkap tren penelitian TPACK, adaptasi lokal, dan perbedaan pendekatan pengembangan profesional guru (Luo *et al.*, 2023; Santibañez *et al.*, 2025; Purnama *et al.*, 2023). Secara keseluruhan, temuan ini menegaskan bahwa TPACK tidak hanya sebagai kerangka teoritis, tetapi juga diuji secara empiris untuk meningkatkan kualitas praktik mengajar dan hasil belajar siswa di sains abad-21.

## KESIMPULAN

Berdasarkan hasil kajian terhadap 31 artikel yang dipublikasikan pada tahun 2023–2025 melalui basis data *Scopus*, penelitian ini menunjukkan bahwa penerapan *Technological Pedagogical Content Knowledge* (TPACK) dalam pembelajaran sains mengalami peningkatan tren yang signifikan selama tiga tahun terakhir. Peningkatan tersebut mencerminkan tingginya perhatian terhadap integrasi teknologi, pedagogi, dan konten dalam pembelajaran abad ke-21. Hasil pembahasan menunjukkan bahwa penerapan TPACK berkontribusi nyata dalam pengembangan keterampilan abad ke-21, khususnya *4C* (*Critical Thinking, Creativity, Communication, dan Collaboration*). Model ini mendorong pembelajaran sains yang lebih inovatif, interaktif, dan berpusat pada peserta didik melalui pemanfaatan teknologi seperti *augmented reality, virtual laboratory, dan artificial intelligence*. Integrasi TPACK juga memperkuat peran guru sebagai fasilitator dalam membangun lingkungan belajar yang kolaboratif dan kontekstual. Sebagai saran, penerapan TPACK perlu terus dikembangkan melalui pelatihan guru, kolaborasi riset lintas disiplin, serta pemanfaatan teknologi pembelajaran yang berkelanjutan agar penerapannya semakin efektif dalam

meningkatkan kualitas pendidikan sains di era digital.

## REFERENSI

- Abdullah, A., & Mahmud, S. N. D. (2024). *Applying TPACK in STEM Education towards 21st Century: Systematic Literature Review*. *International Journal of Academic Research in Progressive Education and Development*, 13(1), 1014–1019.  
<https://doi.org/10.6007/IJARPED/v13-i1/20667>
- Abualrob, M. M. A., & Al-Saadi, S. H. (2025). *Evaluating the role of Technological Pedagogical Content Knowledge in ICT-enhanced science education*. *International Journal of Information and Education Technology*, 15(2), 45–56.
- Akmal, A. N., Maelasari, N., & Lusiana, L. (2025). *Pemahaman deep learning dalam pendidikan: Analisis literatur melalui metode systematic literature review (SLR)*. *JIIP: Jurnal Ilmiah Ilmu Pendidikan*, 8(3), 3229–3236.  
<http://jiip.stkipyapisdompui.ac.id>
- Alemán-Saravia, A. C., & Deroncela-Acosta, A. (2023). *Translation, cultural adaptation and validation of the TPACK-21 instrument*. *Revista de Ciencias Sociales*, 29(4), 112–125.
- Amrullah, M. (2023). *Integrating 4C skills in STEM education through TPACK framework*. *Journal of Educational Research and Practice*, 13(1), 24–38.
- Bae, S., & Chong, K. L. (2024). *Centering cultural knowledge in TPACK: Evidence from a collaborative online international learning collaboration*. *International Review of Research in Open and Distributed Learning*, 25(2), 88–104.
- Çam, Ş. Ş., & Koç, G. (2024). *Professional development program to develop teacher educators' TPACK for science teaching*. *SAGE Open*, 14(2), 1–13.
- Choi-Lundberg, D. L., Butler-Henderson, D. K., Harman, K. E., & Crawford, J. A. (2023). *A systematic review of digital innovations in technology-enhanced learning designs in higher education*. *Australasian Journal of Educational Technology*, 39(1), 15–33.
- Class, B. (2024). *Teaching research methods in education: Using the TPACK framework*

- to reflect on praxis. *International Journal of Research & Method in Education*, 47(3), 288–308.
- Feldman-Maggor, Y., Blonder, R., & Alexandron, G. (2025). *Perspectives of generative AI in chemistry education within the TPACK framework. Journal of Science Education and Technology*, 34(3), 489–505.
- Gunanto, Y. E., & Supriyadi, L. A. (2021). *A case study: Technological Pedagogical and Content Knowledge (TPACK) of pre-service physics teacher to enhance the 4C's skills during online learning. Jurnal Penelitian Pendidikan IPA (JPPIPA)*, 7(4), 660–668. <https://doi.org/10.29303/jppipa.v7i4.789>
- Hsu, H. P., Cheah, Y., & Hughes, J. E. (2023). *A case study of a secondary biology teacher's pedagogical reasoning and action with augmented reality technology. Education Sciences*, 13(2), 101–116.
- Jamaludin, D. N., Rusilowati, A., Widiyatmoko, A., Cahyono, A. N., Saptono, S., & Marianti, A. (2024). *Media and context of science education in TPACK: A systematic review. Journal of Educational, Cultural and Psychological Studies*, 12(3), 321–339.
- Karlsen, N., Henriksen, E. K., & Pajchel, K. (2025). *Assessing teachers' knowledge of how to use computer programming in science and technology education. Journal of Science Education and Technology*, 34(1), 89–104.
- Krug, M., Thoms, L. J., & Huwer, J. (2023). *Augmented reality in the science classroom—Implementing pre-service teacher training in the competency area of simulation and modeling according to the DiKoLAN framework. Education Sciences*, 13(4), 223–239.
- Kurniawan, W., Sutrisno, Maison, M., Marzal, J., & Anwar, K. (2025). *Construction of an intelligent teacher assistant system using the TPACK framework and machine learning to diagnose misconceptions in work and energy. International Journal of Information and Education Technology*, 15(1), 32–41.
- Li, Y., & Lyublinskaya, I. E. (2025). *Effect of American-based professional development program on acculturation strategies of Kazakhstan mathematics faculty. Trends in Higher Education*, 4(2), 99–113.
- Liu, Y., Hu, X., Ng, J. T. D., & Ma, Z. (2025). *Ready or not? Investigating in-service teachers' integration of learning analytics dashboards in science education. Education and Information Technologies*, 30(2), 425–442.
- Luo, W., Berson, I. R., & Berson, M. J. (2023). *A social media analysis of the experiences of Chinese early childhood educators and families with young children during COVID-19. Sustainability (Switzerland)*, 15(8), 6543–6558.
- Machmud, A., Sidik, R., & Ramadhan, I. A. (2022). *Technology Pedagogical Content Knowledge Research in Indonesia: A Bibliometric Analysis. Journal of Education Research*, 4(2), 115–128. <https://ejournal.upi.edu/index.php/JER/article/view/48144>
- Meylani, R., Bitter, G. G., & Legacy, J. M. (2025). *Impacts of professional development and implementation fidelity on online middle school mathematics: A quasi-experimental quantitative study. Turkish Online Journal of Distance Education*, 26(1), 112–130.
- Mishra, P., & Koehler, M. J. (2006). *Technological Pedagogical Content Knowledge: A framework for teacher knowledge. Teachers College Record*, 108(6), 1017–1054.
- Mnguni, L. E., Nuangchalerm, P., El Islami, R. A. Z., Sibanda, D., Ramulumo, M., & Sari, I. J. (2024). *AI integration in biology education: Comparative insights into perceived benefits and TPACK among South African and Indonesian pre-service teachers. Asia-Pacific Science Education*, 10(1), 1–21.
- Mnisi, K. (2023). *A case for deliberate and accommodative design for blended teaching and learning in universities in developing countries. Perspectives in Education*, 41(2), 122–135.
- Nasar, A., & Daud, M. H. (2020). Analisis kemampuan guru IPA tentang Technological Pedagogical Content Knowledge (TPACK) pada SMP/MTs di Kota Ende. *OPTIKA: Jurnal Pendidikan Fisika*, 4(1), 9–18.
- Nursalam, H., Kusnanto, M., Mishbahatul E. M. H., Ah Yusuf, K., Ninuk D. K., Tintin S.,

- Ferry Efendi, Tiyas Kusumaningrum. (2020). *Pedoman Penyusunan Literature dan Systematic Review*. Universitas Airlangga.
- Polikarpus, S., Luik, P., Poom-Valickis, K., & Ley, T. (2023). *The role of trainers in implementing virtual simulation-based training: Effects on attitude and TPACK knowledge*. *Vocations and Learning*, 16(2), 199–216.
- Purnama, H. I., Wilujeng, I., & Jabar, C. S. A. (2023). *Blended learning in elementary school science learning: A systematic literature review*. *International Journal of Evaluation and Research in Education*, 12(3), 901–912.
- Putri, A. H., Robandi, B., Samsudin, A., & Suhandi, A. (2022). *Science Education Research within TPACK Framework at a Glance: A Bibliometric Analysis*. *International Journal of Technology in Education and Science (IJTES)*, 6(4), 823–840.  
<https://ijtes.net/index.php/ijtes/article/view/1677>
- Ryan, A. W., Kolås, L., Nilsen, A. G., & Almås, A. G. (2024). *Systematic literature review as a digital collaborative research-like learning approach*. *Education and Information Technologies*, 29(1), 321–336.
- Santibañez, D. P., Vega-Muñoz, A., Cofré, H. L., Salas, N., & Adsuar, J. C. (2025). *Bibliometric analysis of pedagogical content knowledge: Countries, authors, and fields of knowledge*. *Eurasia Journal of Mathematics, Science and Technology Education*, 21(1), 1–18.
- Setyo, A. A., Pomalato, S. W., Hulukati, E. P., Machmud, T., & Djafri, N. (2023). *Effectiveness of TPACK-based multimodal digital teaching materials for mathematical critical thinking ability*. *International Journal of Information and Education Technology*, 13(4), 287–295.
- Shambare, B., & Jita, T. (2024). *TPACK: A descriptive study of science teachers' integration of the virtual laboratory in rural school teaching*. *Cogent Education*, 11(1), 226–239.
- Shambare, B., & Jita, T. (2024). *Understanding science teachers' TPACK for virtual lab adoption in rural schools in South Africa: A mixed-methods approach*. *Frontiers in Education*, 9, 100–115.
- Stinken-Rösner, L., Hofer, E., Rodenhauer, A., & Abels, S. (2023). *Technology implementation in pre-service science teacher education based on the transformative view of TPACK: Effects on pre-service teachers' TPACK, behavioral orientations and actions in practice*. *Education Sciences*, 13(1), 78–93.
- Sulistyarini, A., Handayani, R., & Prasetyo, H. (2022). *The urgency of 4C skills in science education for 21st-century learners*. *Jurnal Pendidikan Sains Indonesia*, 10(4), 356–370.
- Willermark, S. (2025). *The subject is the subject: Why TPACK matters in the era of GenAI*. *Social Sciences and Humanities Open*, 7(1), 1–11.
- Yanti, N., Sari, N. M., & Putra, A. (2024). *Science education and TPACK integration: A pathway to 21st-century competencies*. *Journal of Science Learning*, 7(2), 100–112.
- Yuebo, L., Halili, S. H., & Abdul Razak, R. (2023). *Factors influencing the online learning success of adults in open and distance education in Southwest China*. *International Journal of Information and Education Technology*, 13(7), 555–566.
- Zuhri, R. S., Wilujeng, I., Haryanto, H., & Ibda, H. (2024). *Information communication technologies education in elementary school: A systematic literature review*. *Journal of Education and Learning*, 13(2), 230–245.