

# Modul Ajar Bermuatan TPACK: Tinjauan Literatur pada Kompetensi Calon Guru IPA

Anggi Paramitha Sulfanjanti<sup>1</sup>, Novi Ratna Dewi<sup>2\*</sup>, Septiko Aji<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup>Program Studi Pendidikan IPA, Universitas Negeri Semarang

<sup>1</sup>[anggiparamitha005@students.unnes.ac.id](mailto:anggiparamitha005@students.unnes.ac.id) <sup>2\*</sup>[noviratnadewi@mail.unnes.ac.id](mailto:noviratnadewi@mail.unnes.ac.id) <sup>3</sup>[septikoaji@mail.unnes.ac.id](mailto:septikoaji@mail.unnes.ac.id)

## ARTICLE INFO

### Article history:

Received 8 June 2025

Revised 16 September 2025

Accepted 11 October 2025

Available online 30 October 2025

### Keywords:

TPACK; Modul Ajar; Calon Guru;

Integrasi Teknologi; Pendidikan Sains



This is an open access article under the [CC BY-SA](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/) license.  
Copyright © 2025 by Author. Published by Universitas  
Sebelas Maret.

## ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis tren dan karakteristik publikasi ilmiah mengenai modul ajar bermuatan TPACK (*Technological Pedagogical Content Knowledge*) dengan fokus pada pengembangan kompetensi calon guru. Menggunakan metode bibliometrik terhadap 27 artikel dari basis data Scopus, analisis ini mengungkap peningkatan signifikan publikasi sejak tahun 2020, dengan puncaknya pada 2023, sebagai respons terhadap transformasi digital dalam Pendidikan. Indonesia menjadi kontributor publikasi terbanyak, sementara Schmid M sebagai penulis paling berpengaruh berdasarkan sitasi. Hasil visualisasi menunjukkan bahwa topik TPACK terfokus pada tiga kluster utama: perencanaan pembelajaran, pendidikan guru prajabatan, dan pendidikan sains. Temuan dari artikel-artikel dengan sitasi tertinggi menyoroti pentingnya pelatihan berbasis pengalaman, integrasi praktik reflektif, dan desain modul ajar yang kontekstual untuk mendukung calon guru dalam mengimplementasikan TPACK secara efektif dalam pembelajaran.

## ABSTRACT

*This paper aims to analyze the trends and characteristics of scientific publications on teaching modules containing TPACK (Technological Pedagogical Content Knowledge) with a focus on developing prospective teachers' competencies. Using a bibliometric methods to 27 articles from the Scopus database, this analysis reveals a significant increase in publications since 2020, with a peak in 2023, in response to digital transformation in education. Indonesia contributed the most publications, while Schmid M was the most influential author based on citations. Visualization results showed that TPACK topics focused on three main clusters: lesson planning, pre-service teacher education, and science education. Findings from the highest-cited articles highlight the importance of experiential training, integration of reflective practice, and contextualized teaching module design to support pre-service teachers in effectively implementing TPACK in learning.*

## 1. PENDAHULUAN

Perkembangan era digital yang sangat pesat membawa dampak besar terhadap berbagai aspek kehidupan, termasuk dalam bidang pendidikan yang mengalami transformasi secara signifikan. Kemajuan Teknologi Informasi dan Komunikasi (TIK) memberikan pengaruh besar terhadap proses belajar-mengajar serta cara individu berinteraksi dengan informasi. Dengan adanya teknologi, guru dapat menyampaikan materi secara lebih efisien, sedangkan siswa memiliki akses yang lebih luas dan cepat terhadap berbagai sumber pengetahuan (Made et al., 2024). Namun, perkembangan ini menuntut adanya transformasi dalam pendekatan pendidikan, di mana peran guru tidak lagi terbatas sebagai penyampai materi, melainkan juga sebagai fasilitator yang mampu mengintegrasikan teknologi dalam pembelajaran agar lebih inovatif dan efektif (Faiz & Purwati, 2021). Memasuki era abad ke-21, guru IPA dituntut untuk memiliki kapasitas yang memadai dalam mengintegrasikan teknologi ke dalam proses pembelajaran. Oleh sebab itu, pemahaman guru terhadap teknologi perlu dibingkai dalam kerangka *Technological Pedagogical Content Knowledge* (TPACK) agar integrasi yang dilakukan bersifat sistematis dan berdampak pada peningkatan kualitas pembelajaran (Dewi et al., 2022).

Kebutuhan akan integrasi TIK dalam pembelajaran semakin menguat seiring dengan munculnya Revolusi Industri 4.0 (4IR), yang menuntut pendidik untuk mampu beradaptasi secara aktif terhadap perubahan teknologi dalam dunia Pendidikan (Shafie et al., 2019). Teknologi tidak hanya berperan sebagai alat pendukung, tetapi juga menjadi sarana dalam membangun lingkungan belajar yang lebih kolaboratif serta adaptif (Azhariadi et al., 2019).

Generasi abad ke-21 lebih akrab dengan media pembelajaran berbasis digital dibandingkan metode tradisional (Rahmawati & Atmojo, 2021), sehingga guru perlu mengembangkan strategi pembelajaran yang berbasis teknologi agar mampu memenuhi kebutuhan belajar siswa secara lebih optimal. Namun, tantangan utama dalam penerapan teknologi dalam pembelajaran terletak pada kesiapan guru dalam mengadopsinya serta membimbing siswa dalam pemanfaatannya secara efektif dan inovatif (Munir & Su'ada, 2024). Oleh karena itu, selain menguasai teknologi, guru juga perlu memahami strategi integrasi teknologi dalam pembelajaran agar dapat meningkatkan kualitas pemahaman siswa secara optimal. Salah satu contoh bentuk penerapan konkret kerangka TPACK dalam pembelajaran adalah pengembangan media pembelajaran berbasis teknologi seperti *Augmented Reality*, yang telah terbukti mampu meningkatkan pemahaman konsep dan keterlibatan peserta didik secara signifikan (Dewi et al., 2024).

Kesadaran akan pentingnya penguasaan TPACK mendorong negara dan lembaga pendidikan untuk menyiapkan calon guru agar mampu mengintegrasikan teknologi dalam pembelajaran sejak masa prajabatan. Di berbagai negara, lembaga pendidikan dan pelatihan guru telah menjadikan kesiapan calon pendidik dalam pemanfaatan teknologi di kelas sebagai salah satu prioritas utama (Sari, 2012). Meskipun telah diterapkan berbagai pendekatan inovatif dalam pendidikan teknologi, tantangan utama yang masih dihadapi berkaitan dengan pemahaman calon guru terhadap aspek pengetahuan, keyakinan, serta sikap mereka dalam mengadopsi teknologi (Abbitt, 2011). Oleh karena itu, program pendidikan guru mengembangkan berbagai strategi untuk membekali calon pendidik dengan keterampilan yang memungkinkan mereka mengintegrasikan teknologi secara efektif dalam praktik mengajar. Salah satu strategi yang diterapkan adalah penggunaan modul ajar yang dirancang untuk mengembangkan keterampilan pedagogik berbasis teknologi, termasuk penerapan kerangka kerja *Technological Pedagogical and Content Knowledge* (TPACK) (Madyopuro & Malang, 2024).

Kerangka kerja TPACK pertama kali dikembangkan oleh Mishra & Koehler (2006) sebagai perluasan dari gagasan Shulman, yang menekankan pentingnya integrasi antara pengetahuan teknologi, pedagogi, dan konten dalam proses pembelajaran. Menurut Mishra & Koehler (2006), keberhasilan implementasi teknologi dalam pendidikan sangat bergantung pada kemampuan guru dalam mengombinasikan ketiga aspek tersebut. Sejumlah penelitian menunjukkan bahwa pemanfaatan teknologi dalam pembelajaran dapat meningkatkan efektivitas belajar siswa, namun tantangan dalam mengintegrasikannya ke dalam mata pelajaran tertentu masih menjadi kendala (Lee et al., 2022). Lembaga pendidikan guru dianjurkan untuk membekali calon pendidik dengan keterampilan yang memungkinkan mereka menghubungkan teknologi, pedagogi, dan konten agar mampu menerapkannya secara efektif dalam pengajaran (Wu et al., 2024). Salah satu pendekatan yang digunakan adalah pengembangan modul ajar bermuatan TPACK, yang dapat membantu calon guru memahami bagaimana teknologi dapat mendukung strategi pedagogis dan materi pembelajaran secara optimal.

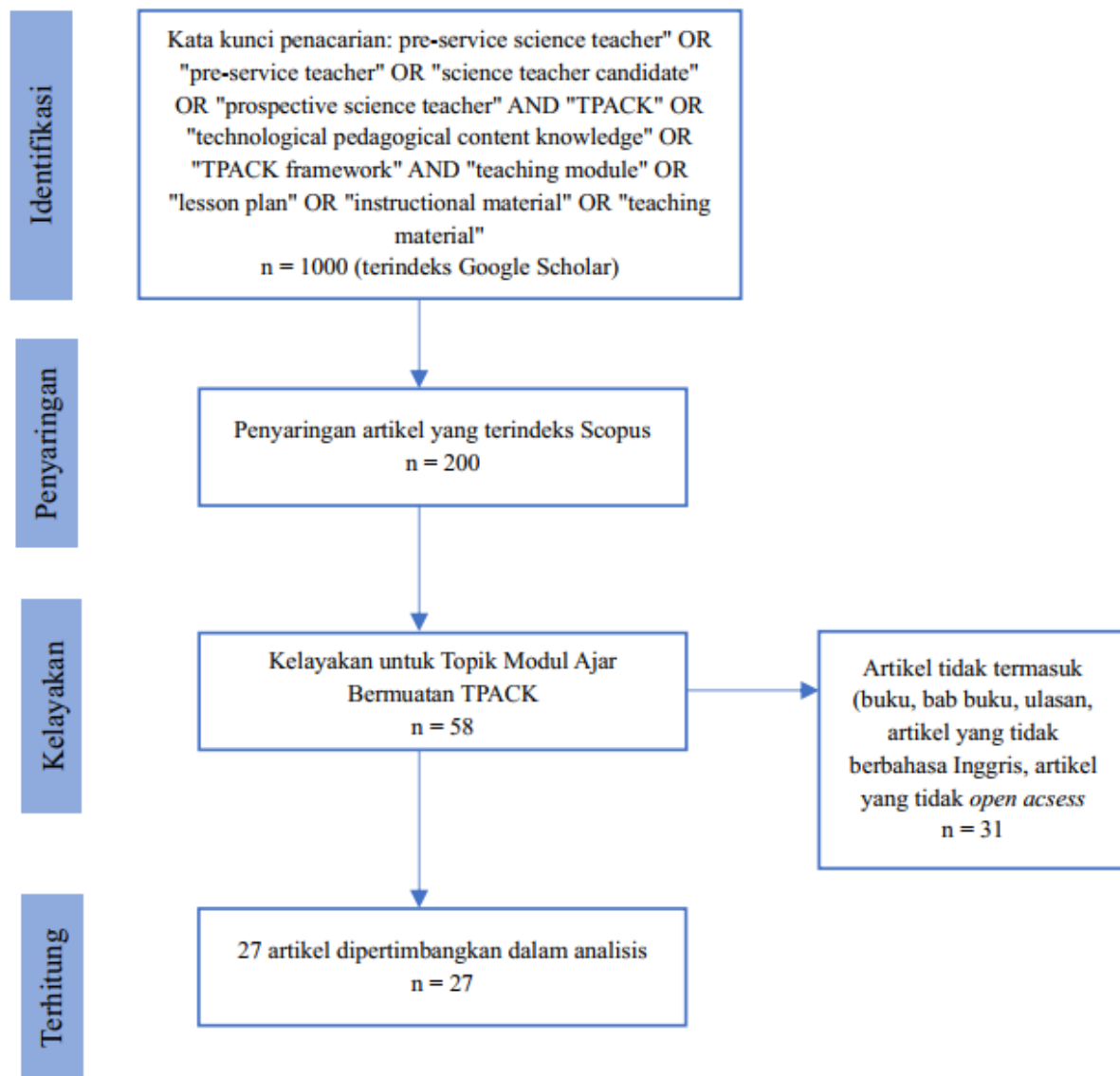
Modul ajar bermuatan TPACK memungkinkan guru tidak hanya memanfaatkan teknologi sebagai alat bantu, tetapi juga mengintegrasikannya secara optimal dalam aspek pedagogi dan konten pembelajaran. Pendekatan ini memastikan bahwa penggunaan teknologi dalam pendidikan benar-benar berkontribusi terhadap peningkatan kualitas pembelajaran serta membekali siswa dengan keterampilan yang relevan di era digital. Selain itu, penelitian yang dilakukan oleh Jannah & Shalsabila (2025) menunjukkan bahwa TPACK memiliki peran signifikan dalam pengembangan penelitian di bidang pendidikan, khususnya dalam perancangan modul ajar berbasis teknologi. Namun demikian, belum banyak penelitian yang secara komprehensif memetakan arah dan kecenderungan riset mengenai TPACK dalam konteks pendidikan IPA calon guru. Hal ini sejalan dengan temuan Dewi et al. (2021) yang menyatakan bahwa pengembangan dan integrasi TPACK sebagai satu kesatuan utuh masih belum menjadi fokus utama dalam penelitian dekade terakhir, terutama di bidang pendidikan IPA. Oleh sebab itu, penelitian lebih lanjut mengenai cara calon guru mengadopsi dan menerapkan konsep TPACK dalam penyusunan modul ajar sangat diperlukan guna menemukan metode implementasi yang paling efektif serta mengidentifikasi berbagai tantangan yang mungkin dihadapi dalam prosesnya.

Penelitian ini berfokus pada kajian literatur yang menelaah modul ajar bermuatan TPACK dengan penekanan pada kompetensi calon guru. Untuk memperjelas arah kajian, penelitian ini merumuskan lima pertanyaan utama. (1) Bagaimana profil publikasi yang membahas modul ajar bermuatan TPACK dengan fokus pada kompetensi calon guru dalam beberapa tahun terakhir? (2) Bagaimana distribusi publikasi mengenai topik tersebut di berbagai negara dan institusi pendidikan secara global? (3) Siapa saja peneliti yang paling produktif dalam bidang kajian modul ajar bermuatan TPACK dan kompetensi calon guru? (4) Bagaimana visualisasi tren penelitian yang mengangkat isu integrasi TPACK dalam modul ajar untuk mendukung pengembangan kompetensi calon guru? (5) Apa saja temuan utama dari artikel-artikel yang paling banyak disitasi terkait kemampuan guru prajabatan dalam mengintegrasikan TPACK dalam pembelajaran? Rangkaian pertanyaan ini menjadi fondasi utama dalam merancang analisis yang komprehensif terhadap literatur yang relevan dengan topik penelitian.

## 2. METODE

Penelitian ini dilakukan dengan pendekatan kuantitatif menggunakan metode bibliometrik untuk meninjau dan menganalisis literatur yang relevan terkait modul ajar bermuatan TPACK dan kompetensi calon guru. Data

dikumpulkan dari basis data Scopus yang diakses pada 27 Maret 2025, dengan menggunakan kombinasi istilah pencarian berikut: ("pre-service science teacher" OR "pre-service teacher" OR "science teacher candidate" OR "prospective science teacher") AND ("TPACK" OR "technological pedagogical content knowledge" OR "TPACK framework") AND ("teaching module" OR "lesson plan" OR "instructional material" OR "teaching material"). Pencarian dibatasi pada artikel berstatus *open access* yang dipublikasikan antara tahun 2014 hingga 2024, sementara publikasi berupa prosiding atau *conference paper* tidak disertakan. Seleksi literatur dilakukan menggunakan metode PRISMA untuk memastikan ketercakupannya dan relevansi sumber, sehingga diperoleh sebanyak 27 artikel yang memenuhi kriteria. Data yang terkumpul dianalisis menggunakan perangkat lunak Bibliometrix yang dijalankan melalui pemrograman R untuk mengakses fitur antarmuka *Biblioshiny*, serta menggunakan VOSviewer untuk memvisualisasikan jaringan keterkaitan antar literatur.



Gambar 1. Ilustrasi Diagram Alir dalam Menemukan Artikel

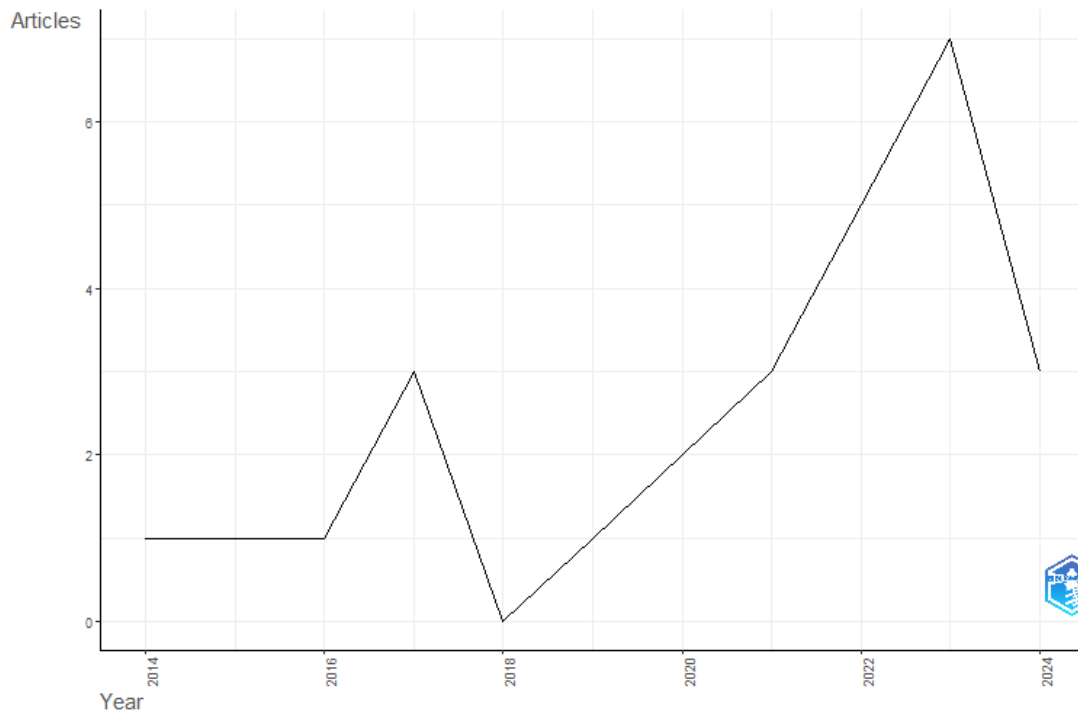
### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 3.1. Hasil

##### *Profil Luaran Publikasi Modul Ajar Bermuatan TPACK dalam Beberapa Tahun Terakhir*

Pencarian artikel ilmiah mengenai modul ajar bermuatan TPACK melalui basis data Scopus menghasilkan sebanyak 27 dokumen yang relevan. Jumlah publikasi dari tahun ke tahun menunjukkan adanya variasi yang dapat

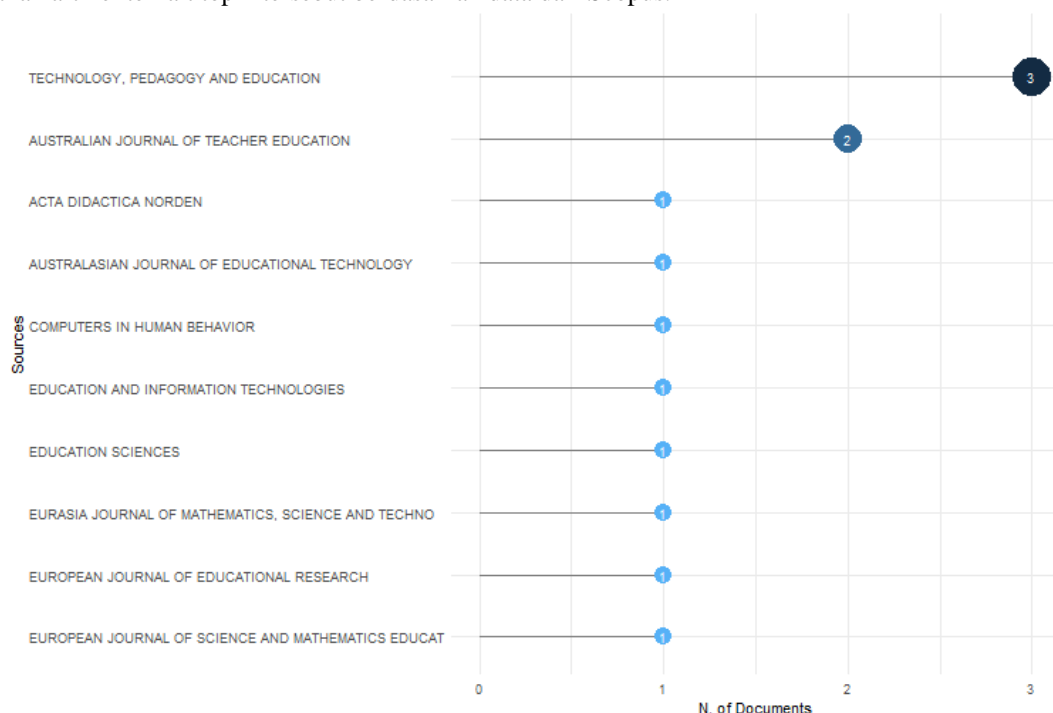
diamati dalam periode sepuluh tahun terakhir. Gambar 2 berikut menyajikan tren publikasi ilmiah tahunan terkait topik tersebut.



Gambar 2. Jumlah Dokumen Penelitian terkait Modul Ajar Bermuatan TPACK

Berdasarkan Gambar 2, jumlah artikel cenderung fluktuatif dari tahun 2014 hingga 2024. Pada beberapa tahun, seperti 2018, tidak ditemukan publikasi yang relevan, sementara tahun 2023 menunjukkan jumlah artikel tertinggi dalam satu tahun. Meski terdapat penurunan pada tahun berikutnya, jumlah artikel tetap lebih tinggi dibandingkan tahun-tahun awal. Secara umum, grafik menunjukkan bahwa aktivitas publikasi dalam topik ini meningkat dalam beberapa tahun terakhir.

Analisis distribusi jurnal menunjukkan bahwa publikasi mengenai modul ajar bermuatan TPACK tersebar di berbagai jurnal internasional yang relevan. Gambar 3 menyajikan sepuluh besar jurnal yang paling banyak menerbitkan artikel terkait topik tersebut berdasarkan data dari Scopus.

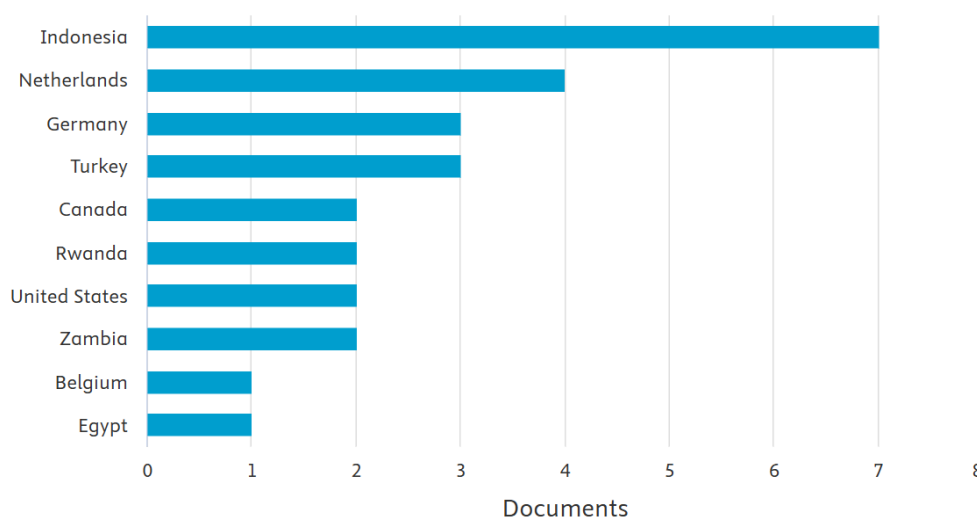


Gambar 3. 10 Sumber Publikasi Paling Relevan terkait Penelitian Modul Ajar Bermuatan TPACK

Berdasarkan Gambar 3, penelitian mengenai modul ajar bermuatan TPACK paling banyak dipublikasikan dalam *Technology, Pedagogy and Education* dengan total 3 dokumen. Selanjutnya, *Australian Journal of Teacher Education* menempati posisi kedua dengan jumlah publikasi sebanyak 2 dokumen. Selain itu, terdapat 8 jurnal lain yang tercantum dalam Gambar 3 yang masing-masing menerbitkan satu dokumen terkait penelitian ini. Di luar itu, masih ada 14 jurnal lainnya yang juga mempublikasikan satu dokumen, meskipun tidak ditampilkan dalam gambar. Hal ini menunjukkan bahwa topik ini mendapat perhatian luas dari berbagai jurnal akademik, meskipun sebagian besar hanya memiliki kontribusi terbatas dalam jumlah publikasi.

#### *Distribusi Publikasi Modul Ajar Bermuatan TPACK di Berbagai Negara dan Afiliasi di Seluruh Dunia*

Penelitian mengenai modul ajar bermuatan TPACK telah dipublikasikan oleh peneliti dari berbagai negara. Gambar 4 memperlihatkan distribusi publikasi dari beberapa negara berdasarkan tahun terbitnya artikel, sebagaimana tercatat dalam basis data Scopus. Distribusi dokumen berdasarkan negara atau wilayah memberikan gambaran mengenai sebaran geografis penelitian terkait modul ajar yang mengintegrasikan TPACK. Data ini penting untuk memahami dari mana saja kontribusi akademik mengenai topik tersebut berasal, serta menunjukkan negara-negara yang aktif dalam mengembangkan pendekatan pembelajaran inovatif berbasis TPACK.



Gambar 4. Negara Paling Produktif dalam Meneliti Modul Ajar Bermuatan TPACK

Berdasarkan Gambar 4, Indonesia merupakan negara dengan jumlah dokumen terbanyak dalam penelitian terkait modul ajar berbasis TPACK, yakni sebanyak tujuh dokumen. Disusul oleh Belanda dengan empat dokumen, kemudian Jerman dan Turki yang masing-masing menghasilkan tiga dokumen. Kanada, Rwanda, Amerika Serikat, dan Zambia berada pada jumlah yang sama, yaitu dua dokumen. Sementara itu, Belgia dan Mesir masing-masing menyumbang satu dokumen. Data ini menunjukkan sebaran kontribusi publikasi dari berbagai negara dengan kecenderungan yang bervariasi, di mana Indonesia menunjukkan dominasi yang cukup mencolok dibandingkan negara-negara lainnya. Selisih jumlah dokumen antar negara juga menggambarkan intensitas keterlibatan akademik yang berbeda dalam topik ini.

Analisis terhadap distribusi institusi yang paling banyak mempublikasikan artikel terkait modul ajar bermuatan TPACK menunjukkan bahwa terdapat sepuluh institusi yang mendominasi publikasi ilmiah dalam topik ini. Informasi tersebut disajikan dalam Tabel 1 di bawah ini.

Tabel 1. 10 Institusi Paling Banyak dalam Meneliti Terkait Modul Ajar Bermuatan TPACK

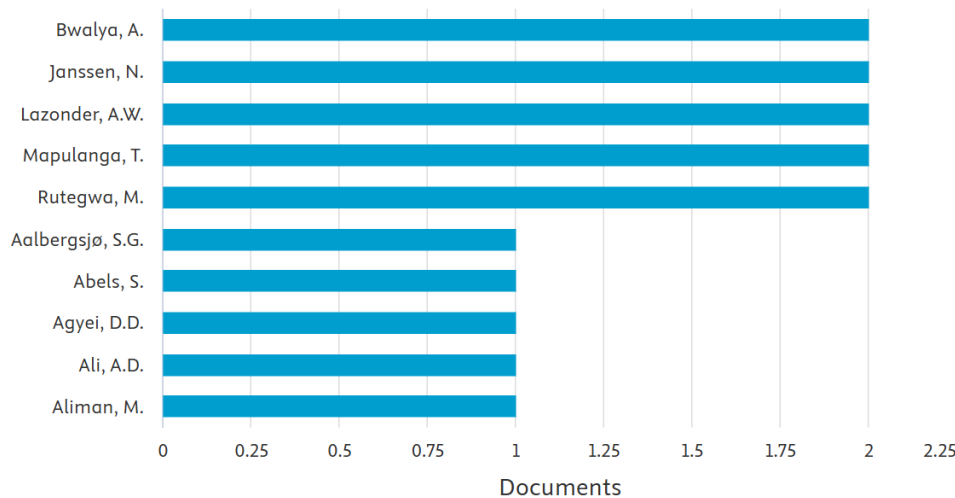
| Institusi                               | Artikel |
|---|---------|
| Universitas Negeri Malang               | 5       |
| Universitas Pendidikan Indonesia        | 4       |
| University of Rwanda                    | 4       |
| University of Twente                    | 4       |
| University of Tübingen                  | 4       |
| Amasya University                       | 2       |
| Gongju National University of Education | 2       |
| Kasetsart University                    | 2       |
| Knowledge Media Research Center         | 2       |
| Mersin University                       | 2       |

Hasil pada Tabel 1 menunjukkan bahwa Universitas Negeri Malang merupakan institusi yang paling aktif meneliti topik ini, diikuti oleh empat institusi lain dari berbagai negara dengan jumlah artikel yang sama. Sementara itu, lima institusi lainnya masing-masing menyumbang dua publikasi. Temuan ini memperlihatkan

adanya keterlibatan institusi pendidikan tinggi dari berbagai kawasan dunia dalam mengkaji penerapan TPACK dalam pengembangan modul ajar, menunjukkan bahwa isu ini bersifat lintas negara dan lintas konteks pendidikan.

#### *Penulis Paling Produktif dalam Penelitian tentang Modul Ajar Bermuatan TPACK di Seluruh Dunia*

Pada penelitian-penelitian yang berfokus pada pengembangan modul ajar berbasis TPACK, sejumlah penulis tercatat memiliki kontribusi lebih dari yang lain. Gambar 5 menyajikan sepuluh besar penulis yang paling produktif berdasarkan jumlah dokumen yang berhasil dipublikasikan.



Gambar 5. Penulis Paling Produktif dalam Penelitian terkait Modul Ajar Bermuatan TPACK

Berdasarkan gambar 5 terlihat bahwa lima penulis teratas, yaitu Bwalya, A.; Janssen, N.; Lazonder, A.W.; Mapulanga, T.; dan Rutegwa, M., masing-masing memiliki dua dokumen yang relevan. Penulis lainnya seperti Aalbergsjø, S.G., Abels, S., Agyei, D.D., Ali, A.D., dan Aliman, M. tercatat masing-masing menyumbang satu dokumen. Temuan ini menunjukkan bahwa walaupun terdapat beberapa penulis yang cukup produktif, kontribusi terhadap penelitian modul ajar berbasis TPACK masih bersifat terbatas dan belum terpusat pada satu atau dua tokoh dominan. Selain penulis yang produktif dalam mempublikasi topik penelitian ini, terdapat beberapa penulis yang karyanya banyak disitasi dalam bidang modul ajar berbasis TPACK memberikan gambaran mengenai pengaruh dan relevansi penelitian mereka di komunitas akademik. Tabel 2 berikut menyajikan lima penulis dengan jumlah sitasi tertinggi.

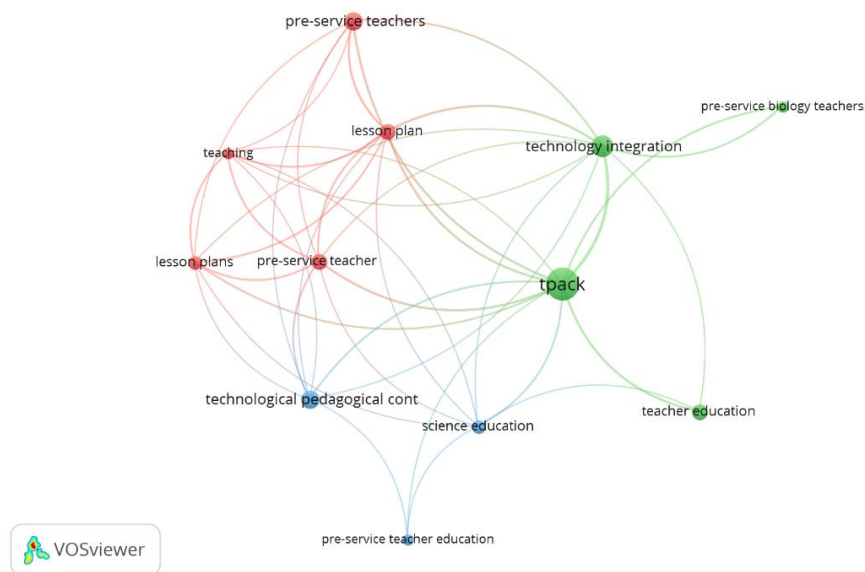
Tabel 2. Penulis dengan Jumlah Sitasi Teratas

| No. | Penulis    | Jumlah Sitasi |
|-----|------------|---------------|
| 1.  | Schmid M   | 134           |
| 2.  | Valtonen T | 65            |
| 3.  | Janssen N  | 48            |
| 4.  | Durdu L    | 37            |
| 5.  | Zhou G     | 29            |

Tabel 2 menunjukkan bahwa Schmid M menempati urutan pertama sebagai penulis dengan jumlah sitasi tertinggi, yakni sebanyak 134 sitasi. Disusul oleh Valtonen T dengan 65 sitasi, dan Janssen N dengan 48 sitasi. Sementara itu, dua penulis lainnya, Durdu L dan Zhou G, masing-masing memperoleh 37 dan 29 sitasi. Data ini menunjukkan bahwa meskipun terdapat banyak penulis yang terlibat dalam penelitian TPACK, beberapa penelitian tersebut memiliki pengaruh tinggi terhadap perkembangan keilmuan dalam bidang ini.

#### *Visualisasikan Tren Penelitian Modul Ajar Bermuatan TPACK*

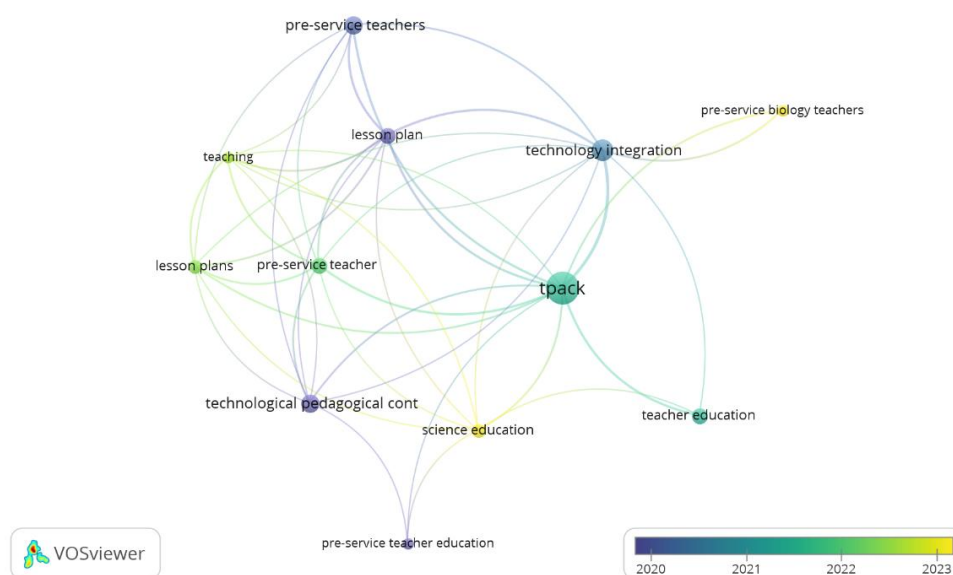
Untuk memahami tren dan keterkaitan topik dalam penelitian modul ajar bermuatan TPACK, dilakukan analisis bibliometrik menggunakan aplikasi VOSviewer. Visualisasi ini memetakan keterkaitan antar kata kunci (*keyword*) yang sering muncul secara bersamaan dalam dokumen-dokumen yang dikaji, sehingga dapat menggambarkan arah dan fokus penelitian yang berkembang.



Gambar 6. Visualisasi *Network* dalam Hasil VOSviewer

Gambar 6 merupakan hasil visualisasi *network* dalam VOSviewer yang menunjukkan keterkaitan antar konsep dalam penelitian terkait TPACK dan pendidikan calon guru. Dalam visualisasi ini, istilah "TPACK" menjadi pusat dari jaringan dan memiliki keterhubungan erat dengan konsep seperti "*technology integration*," "*teacher education*," dan "*lesson plan*." Klaster pertama, yang ditandai dengan warna merah, berfokus pada konsep "*pre-service teachers*," "*lesson plan*," dan "*teaching*," yang menunjukkan bahwa penelitian banyak membahas bagaimana calon guru merancang dan menerapkan pembelajaran dalam konteks persiapan mengajar. Klaster kedua, yang ditandai dengan warna hijau, berpusat pada "TPACK" dan "*technology integration*," yang mengindikasikan bahwa integrasi teknologi dalam pendidikan menjadi aspek utama dalam kajian terkait TPACK. Sementara itu, klaster ketiga, yang berwarna biru, mencakup istilah seperti "*technological pedagogical content*" dan "*science education*," yang menunjukkan bahwa penelitian juga membahas bagaimana pendidikan sains dapat dikaitkan dengan pengembangan kompetensi pedagogik berbasis teknologi bagi calon guru.

Selain visualisasi *network* terdapat juga visualisasi *overlay* dalam VOSviewer. Visualisasi *overlay* ini memberikan gambaran dinamis mengenai tren topik penelitian dari waktu ke waktu berdasarkan data publikasi. Dalam analisis ini, visualisasi *overlay* digunakan untuk mengetahui keterkaitan antar kata kunci serta perkembangan temporal dari konsep-konsep yang sering muncul dalam literatur.



Gambar 7. Visualisasi *Overlay* dalam Hasil VOSviewer

Berikutnya gambar 7 merupakan hasil visualisasi *overlay* dalam VOSviewer yang menunjukkan perkembangan penelitian berdasarkan waktu. Skala warna dalam gambar ini menunjukkan bahwa konsep seperti

"*technology integration*" dan "*pre-service teachers*" telah banyak dibahas lebih awal (ditandai dengan warna biru), mengindikasikan bahwa kajian mengenai integrasi teknologi dalam pendidikan telah berkembang sejak beberapa tahun lalu. Sedangkan konsep seperti "*science education*" dan "*pre-service biology teachers*" muncul dalam warna kuning, menunjukkan bahwa penelitian di bidang ini lebih baru dan menjadi tren dalam beberapa tahun terakhir. Hal ini menegaskan bahwa fokus penelitian tentang integrasi TPACK dalam pembelajaran calon guru terus berkembang, terutama dalam aspek pendidikan sains.

Berdasarkan analisis dari kedua visualisasi, dapat diketahui bahwa penelitian terkait TPACK dalam pendidikan calon guru mencakup berbagai aspek, seperti perencanaan pembelajaran, integrasi teknologi, dan pengembangan pedagogi dalam pendidikan sains. Tren penelitian terbaru menunjukkan peningkatan perhatian terhadap implementasi TPACK dalam pendidikan spesifik, seperti bagi calon guru biologi dan dalam pengembangan strategi pembelajaran berbasis teknologi. Namun, keterkaitan langsung antara modul ajar bermuatan TPACK dalam pendidikan calon guru IPA masih belum tergambar secara jelas. Oleh karena itu, diperlukan penelitian lebih lanjut untuk mengeksplorasi bagaimana TPACK dapat diimplementasikan secara efektif dalam perancangan modul ajar yang berorientasi pada pengembangan keterampilan pedagogik dan teknologi bagi calon guru IPA.

#### Artikel Terkait Topik Penelitian Modul Ajar Bermuatan TPACK

Tabel 3 menampilkan lima artikel dengan jumlah sitasi tertinggi dalam penelitian terkait modul ajar bermuatan TPACK pada pendidikan calon guru. Artikel-artikel ini memiliki pengaruh yang signifikan dalam pengembangan teori dan praktik integrasi teknologi dalam pembelajaran. Jumlah sitasi yang tinggi menunjukkan bahwa penelitian tersebut menjadi rujukan utama bagi peneliti lain dalam mengembangkan kajian terkait TPACK. Selain itu, keberadaan artikel dengan jumlah sitasi tertinggi dalam tabel ini juga memberikan gambaran mengenai tren penelitian yang banyak dikaji dalam beberapa tahun terakhir.

Tabel 3. Hasil Analisis 5 Artikel dengan Jumlah Sitasi Terbanyak

| No | Penulis               | Judul  | Hasil  | Rekomendasi  |
|----|-----------------------|--|--|--|
| 1. | Schmid et al., 2021   | <i>Self-reported technological pedagogical content knowledge (TPACK) of pre-service teachers in relation to digital technology use in lesson plans</i> | TPACK tidak berbeda signifikan antara guru yang menggunakan teknologi dan yang tidak, tetapi guru STEM dengan pemahaman TPACK yang tinggi lebih cenderung dapat mengintegrasikannya.                   | Peneliti merekomendasikan penelitian lanjutan dengan pengukuran TPACK yang lebih objektif, mempertimbangkan faktor lain seperti keyakinan guru dan konteks sekolah, serta pelatihan khusus bagi guru non-STEM.                           |
| 2. | Valtonen et al., 2020 | <i>Fresh perspectives on TPACK: pre-service teachers' own appraisal of their challenging and confident TPACK areas</i>                                 | Calon guru lebih banyak menyoroti PK, sementara TPK menjadi tantangan utama. Mereka kurang merefleksikan TCK dan TPACK secara menyeluruh, dan lebih rinci dalam membahas pedagogi dibanding teknologi. | Pendidikan guru perlu memperkuat pengetahuan pedagogis untuk mengembangkan TPACK, meningkatkan pelatihan praktis dalam integrasi teknologi, dan melakukan penelitian lebih lanjut dengan konten tertentu untuk mendalami refleksi TPACK. |
| 3. | Janssen et al., 2019  | <i>Technological and Pedagogical Support for Pre-Service Teachers' Lesson Planning</i>   | Dukungan terintegrasi teknologi dan pedagogi meningkatkan justifikasi desain yang menggabungkan keduanya, tetapi tidak secara signifikan meningkatkan kualitas rencana pembelajaran.                   | Dukungan terintegrasi perlu dilengkapi dengan pelatihan pra-penggunaan teknologi untuk meningkatkan pemahaman guru. Perlu penelitian lebih lanjut tentang dukungan berbasis TPACK penuh.   |
| 4. | Durdu & Dag, 2017     | <i>Pre-Service Teachers' TPACK Development and Conceptions through a TPACK-Based Course</i>  | Kursus berbasis TPACK meningkatkan pengetahuan teknologi, pedagogi, dan konten guru pra-jabatan. Integrasi teknologi dan pedagogi lebih baik, tetapi integrasi penuh (TPACK) masih terbatas.           | Kursus berbasis TPACK sebaiknya diberikan lebih awal dalam program pendidikan guru. Pelatihan praktik dalam penggunaan alat teknologi spesifik diperlukan sebelum integrasi dengan pedagogi dan konten.                                  |
| 5. | Zhou et al., 2017     | <i>Developing Pre-Service Teachers' Capacity in Teaching Science with Technology through</i>   | Microteaching Lesson Study (MLS) meningkatkan TPACK guru pra-jabatan melalui praktik, refleksi kolaboratif, dan umpan balik instan. Guru lebih percaya diri dalam                                      | Program pendidikan guru sebaiknya menerapkan pendekatan MLS di semua mata kuliah metode untuk mengembangkan TPACK. Perlu koordinasi antara kursus teknologi dan metode untuk konsistensi kurikulum.                                      |

|  |   |
|--|---|
| <i>Microteaching Lesson Study Approach</i> | mengintegrasikan teknologi dengan pedagogi. |
|--|---|

Tabel 3 menunjukkan tantangan yang dihadapi calon guru dalam mengintegrasikan TPACK terletak pada kurangnya pemahaman dan pengalaman praktis dalam penerapan teknologi dalam pembelajaran. Sebagaimana yang diungkapkan oleh Schmid et al. (2021) bahwa guru STEM dengan tingkat TPACK yang lebih tinggi cenderung lebih sering menggunakan teknologi dalam pengajaran mereka. Namun, Valtonen et al. (2020) mencatat bahwa banyak calon guru yang belum cukup merefleksikan integrasi teknologi dalam pengajaran mereka, yang menunjukkan adanya kesenjangan antara pengetahuan teori dan praktik di lapangan. Untuk mengatasi tantangan ini, Janssen et al. (2019) menekankan pentingnya pelatihan praktis sebelum penyusunan rencana ajar berbasis teknologi, sehingga calon guru dapat belajar bagaimana mengaplikasikan teknologi secara langsung dalam konteks pembelajaran. Durdu & Dag (2017) juga menyoroti pentingnya kursus berbasis TPACK yang menyediakan latihan praktik intensif agar calon guru memiliki keterampilan yang memadai untuk mengintegrasikan teknologi ke dalam proses pengajaran. Pendekatan *Microteaching Lesson Study* (MLS) yang diusulkan oleh Zhou et al. (2017) memberikan solusi untuk meningkatkan kepercayaan diri calon guru dalam menggunakan teknologi, dengan memberikan kesempatan bagi mereka untuk belajar melalui pengalaman langsung dan interaksi dengan sesama pendidik. Penguasaan kerangka kerja TPACK sudah seharusnya mulai ditanamkan sejak calon guru masih berada dalam tahap prajabatan. Ketika mereka menyelesaikan pendidikan sarjananya, idealnya para calon guru IPA telah memiliki kemampuan TPACK yang baik sebagai bekal utama dalam mendukung pembelajaran abad ke-21 (Dewi et al., 2021). Dengan demikian, integrasi TPACK dalam desain modul ajar menjadi salah satu strategi penting untuk menyiapkan pendidik yang adaptif, reflektif, dan responsif terhadap dinamika pendidikan berbasis teknologi.

### 3.2. Pembahasan

Integrasi teknologi dalam pendidikan di era digital ini menjadi aspek krusial dalam meningkatkan efektivitas pembelajaran (Setyawan et al., 2024). *Technological Pedagogical Content Knowledge* (TPACK) merupakan kerangka kerja yang menggabungkan tiga aspek utama, yaitu teknologi, pedagogi, dan konten, untuk mendukung pembelajaran yang lebih inovatif (Akbar & Djakaria, 2023). Penerapan TPACK dalam modul ajar bertujuan untuk membantu calon guru memahami cara mengintegrasikan teknologi secara efektif dalam proses pembelajaran (Farida et al., 2020). Kajian literatur menunjukkan bahwa calon guru yang memahami konsep TPACK cenderung lebih siap dalam menghadapi tantangan pembelajaran abad ke-21. Dalam dekade terakhir, perhatian terhadap integrasi teknologi dalam pendidikan meningkat tajam, terutama melalui pendekatan *Technological Pedagogical Content Knowledge* (TPACK) yang menggabungkan pengetahuan tentang teknologi, pedagogi, dan konten. Salah satu bentuk konkret dari penerapan TPACK adalah pengembangan modul ajar yang dirancang untuk mendukung kompetensi calon guru dalam menyusun pembelajaran yang inovatif dan kontekstual.

Profil luaran publikasi pada bidang ini memperlihatkan pola pertumbuhan yang signifikan, khususnya sejak tahun 2020, saat pandemi COVID-19 mempercepat digitalisasi pendidikan secara global. Sebelum 2019, jumlah publikasi masih terbatas, mencerminkan minimnya eksplorasi sistematis terhadap penerapan TPACK dalam modul ajar. Namun, sejak 2020 hingga mencapai puncaknya pada 2023, publikasi meningkat tajam, menunjukkan bahwa TPACK telah mendapatkan perhatian luas sebagai pendekatan yang relevan dalam desain pembelajaran abad ke-21. Penurunan publikasi pada tahun 2024 diperkirakan berkaitan dengan kendala administratif atau keterlambatan indeksasi, bukan berkurangnya minat terhadap topik ini.

Peningkatan jumlah publikasi ini juga sejalan dengan semakin luasnya distribusi geografis penelitian mengenai modul ajar bermuatan TPACK. Data menunjukkan bahwa Indonesia mendominasi publikasi dalam topik ini, khususnya melalui kontribusi signifikan dari institusi seperti Universitas Negeri Malang dan Universitas Pendidikan Indonesia. Keaktifan institusi-institusi ini mencerminkan kebijakan pendidikan nasional yang mendorong penguatan literasi digital dan inovasi pembelajaran. Selain Indonesia, negara-negara seperti Jerman, Korea Selatan, Belanda, dan Turki turut aktif mempublikasikan riset serupa. Kehadiran institusi dari kawasan Asia Tenggara, Eropa, serta negara berkembang seperti Zambia dan Rwanda juga menunjukkan bahwa perhatian terhadap integrasi TPACK tidak terbatas pada negara maju saja. Fenomena ini memperlihatkan bahwa pengembangan kompetensi guru berbasis TPACK telah menjadi kebutuhan lintas negara yang semakin mendapat tempat dalam agenda pendidikan tinggi.

Dari sisi kontribusi individu, belum tampak adanya dominasi dari satu tokoh utama, tetapi mulai terbentuk komunitas peneliti yang aktif meneliti topik ini secara berkelanjutan. Lima penulis teratas tercatat memiliki jumlah publikasi yang sama, yaitu dua dokumen, yang menunjukkan bidang ini masih terbuka luas bagi kontribusi peneliti baru. Meski demikian, Schmid M menonjol sebagai penulis tersitasi terbanyak dengan 134 kutipan, mengungguli penulis lain secara signifikan. Hal ini menandakan bahwa karya-karya Schmid tidak hanya produktif, tetapi juga menjadi referensi utama dalam pengembangan teori dan praktik integrasi TPACK. Penulis lain seperti Valtonen T

dan Janssen N juga menunjukkan kontribusi penting, baik dari sisi jumlah publikasi maupun sitasi, yang memperkuat posisi mereka sebagai penggerak utama dalam kajian modul ajar berbasis TPACK di tingkat global.

Untuk memperdalam pemahaman terhadap arah dan fokus penelitian TPACK, dilakukan analisis visualisasi menggunakan perangkat *VOSviewer*. Hasil visualisasi menunjukkan terbentuknya tiga kluster utama dalam peta tematik kajian ini. Kluster pertama berkaitan dengan lesson plan dan pre-service teachers, mencerminkan perhatian terhadap pendidikan guru prajabatan sebagai arena awal penerapan TPACK. Kluster kedua menekankan pada isu integrasi teknologi dalam pendidikan guru secara umum, menunjukkan bahwa kerangka TPACK tidak hanya digunakan dalam penyusunan materi ajar, tetapi juga sebagai dasar dalam pelatihan profesional guru. Kluster ketiga banyak berkaitan dengan konteks pendidikan sains, khususnya dalam mata pelajaran IPA dan biologi, menandakan bahwa TPACK sangat potensial untuk mendukung pembelajaran berbasis sains yang menuntut pemanfaatan teknologi dalam penyampaian materi abstrak dan proses ilmiah. Keterkaitan antar kluster yang padat memperlihatkan bahwa TPACK telah berkembang menjadi topik multidisipliner, dengan fokus yang meluas dan terhubung erat antar subtema.

Pentingnya topik ini juga tampak dari lima artikel paling berpengaruh yang dijadikan referensi utama dalam kajian modul ajar berbasis TPACK. Kelima artikel ini menegaskan bahwa pengembangan modul ajar berbasis TPACK menuntut keseimbangan antara pengetahuan konseptual, keterampilan praktis, dan refleksi kritis sebagai dasar dalam penguatan kompetensi profesional guru. Artikel Schmid et al. (2021) mengungkap bahwa penguasaan TPACK tidak berbeda secara signifikan antara guru STEM dan non-STEM, namun guru STEM cenderung lebih aktif dalam integrasi teknologi. Sementara itu, Valtonen et al. (2020) menunjukkan bahwa calon guru lebih fokus pada aspek pedagogi, dengan kecenderungan mengabaikan dimensi konten dan teknologi, sehingga pelatihan berbasis pengalaman menjadi krusial. Studi lain oleh Janssen et al. (2019) menekankan pentingnya justifikasi pedagogik dalam desain pembelajaran, bukan sekadar penggunaan teknologi. Durdu & Dag (2017) menyoroti efektivitas pelatihan berbasis kursus TPACK, namun juga menekankan bahwa penguasaan konsep perlu disertai praktik langsung. Pendekatan tersebut diperkuat oleh Zhou et al. (2017) yang merekomendasikan *Microteaching Lesson Study* sebagai cara untuk membangun kesadaran reflektif calon guru terhadap integrasi TPACK dalam praktik nyata. Salah satu strategi yang terbukti efektif dalam meningkatkan kompetensi guru dalam mengintegrasikan teknologi adalah melalui pelatihan penyusunan modul ajar berbasis TPACK, sebagaimana telah dilakukan pada guru IPA MGMP Kota Semarang (Dewi et al., 2023).

Salah satu tantangan utama dalam implementasi TPACK adalah kesiapan calon guru dalam mengadopsi teknologi secara efektif. Meskipun calon guru memahami pentingnya teknologi dalam pembelajaran, mereka masih menghadapi kendala dalam mengaplikasikannya di kelas Diamah et al. (2023). Faktor seperti kurangnya pelatihan, keterbatasan infrastruktur, dan kurangnya pengalaman dalam menggunakan teknologi pendidikan menjadi hambatan utama dalam penerapan TPACK (Rahmania & Hudri, 2024). Perlu adanya pelatihan bagi calon guru dalam memahami konsep TPACK. Program pelatihan yang dirancang dengan baik dapat meningkatkan pemahaman dan keterampilan calon guru dalam menggunakan teknologi secara efektif (Kunaiifi & Wahyudi, 2024). Integrasi pelatihan berbasis TPACK dalam kurikulum pendidikan guru menjadi langkah strategis untuk meningkatkan kesiapan mereka dalam menghadapi pembelajaran berbasis teknologi. Konsep modul ajar bermuatan TPACK membantu meningkatkan kompetensi calon guru. Namun, masih terdapat kebutuhan untuk mengembangkan modul ajar yang lebih spesifik dan berbasis bukti untuk memastikan implementasi yang optimal. Dengan terus berkembangnya teknologi, penelitian lebih lanjut diperlukan untuk mengeksplorasi bagaimana integrasi TPACK dapat dioptimalkan dalam berbagai konteks pembelajaran.

#### 4. KESIMPULAN DAN REKOMENDASI

Berdasarkan hasil analisis, publikasi mengenai modul ajar bermuatan TPACK dengan fokus pada kompetensi calon guru menunjukkan tren peningkatan dalam lima tahun terakhir, terutama sejak pandemi mendorong transformasi digital dalam pendidikan. Distribusinya bersifat global namun dengan dominasi kuat dari institusi pendidikan di Indonesia, diikuti oleh kontribusi stabil dari negara-negara seperti Jerman, Korea Selatan, dan Belanda. Peneliti paling produktif tersebar secara merata tanpa dominasi tunggal, namun Schmid M unggul dari sisi pengaruh akademik melalui jumlah sitasi yang tinggi. Visualisasi tren memperlihatkan bahwa penelitian TPACK terkonsentrasi pada tiga kluster utama yaitu rencana pembelajaran, pendidikan guru, dan pembelajaran sains yang mencerminkan sifat multidisipliner dan relevansi luas topik ini dalam pengembangan profesional calon guru. Artikel-artikel paling disitasi menekankan pentingnya pelatihan berbasis pengalaman, praktik reflektif, dan pendekatan kontekstual untuk meningkatkan kesiapan calon guru dalam menerapkan TPACK secara efektif di kelas.

## DAFTAR PUSTAKA

- Abbitt, J. T (2011). An Investigation of the Relationship between Self-Efficacy Beliefs about Technology Integration and Technological Pedagogical Content Knowledge (TPACK) among Preservice Teachers. *Journal of Digital Learning in Teacher Education*, 27(4), 134–143. <https://files.eric.ed.gov/fulltext/EJ936541.pdf>
- Akbar, J. S., & Djakaria. (2023). Pemanfaatan Media Pembelajaran Berbasis Android Menggunakan Pendekatan inkuiri Untuk Memperkuat Technological Pedagogical and Content Knowledge (TPACK) Calon Guru. *Journal of Chemistry Education*, 5(1), 46–53. <https://doi.org/10.37033/ojce.v4i2.549>
- Azhariadi, Desmaniar, I., & Geni, Z. L. (2019). Pembelajaran berbasis teknologi informasi dan komunikasi (tik) di daerah terpencil. *Jurnal INSYPPO (Information System and Processing)*, 121, 78–88. <https://jurnal.univpgri-palembang.ac.id>
- Dewi, N. R., Aji, S., Amelia, R. N., Saputri, L. H., Rahmalia, I., Sari, D. S., & Bidayah, N. (2024). *Peningkatan Pengetahuan TPACK dan Media Pembelajaran Berbasis Augmented Reality ( AR ) Guru MTs PPMI Assalaam*. 2(2), 68–74. <https://journal.unnes.ac.id/journals/jdi/article/view/11635>
- Dewi, N. R., Listiaji, P., Fariz, T. R., Saputri, L. H., Wintribrata, B. H., Nabilla, M. S. A., Niswah, P. U., Rahmawati, I., Fathurrohman, I., & Hartanto, F. H. (2023). Peningkatan Profesionalisme Guru IPA MGMP Kota Semarang melalui Pelatihan Modul Ajar berbasis TPACK. *Jurnal Dharma Indonesia*, 1(2), 87–93. <https://journal.unnes.ac.id/sju/index.php/jdi/article/view/73904>
- Dewi, N. R., Rusilowati, A., Saptono, S., & Haryani, S. (2022). Pengembangan Model Pembelajaran Project-Based Scaffolding TPACK. *Prosiding Seminar Nasional Pascasarjana*, 795–801. <https://proceeding.unnes.ac.id/snpasca/article/view/1566>
- Dewi, N. R., Rusilowati, A., Saptono, S., Haryani, S., & Listiaji, P. (2021). Analysing Technological Pedagogical and Content Knowledge (TPACK) of Pre-Service Science Teachers. *International Conference on Science, Education, and Technology*, 7(1), 407–412. <https://proceeding.unnes.ac.id/index.php/ISET/article/view/1989>
- Dewi, N. R., Rusilowati, A., Saptono, S., Haryani, S., Wiyanto, W., Ridlo, S., Listiaji, P., & Atunnisa, R. (2021). Technological, Pedagogical, Content Knowledge (TPACK) Research Trends: A Systematic Literature Review of Publications Between 2010 - 2020. *Journal of Turkish Science Education*, 18(4), 589–604. <https://doi.org/10.36681/tused.2021.92>
- Diamah, A., Rahmawati, Y., Irwanto, I., Paristiowati, M., & Fitriani, E. (2023). A Survey to Investigate Pre-service Teachers' Perceptions of Technological Pedagogical Content Knowledge (TPACK) in Indonesia. *AIP Conference Proceedings*, 2569(January). <https://doi.org/10.1063/5.0112173>
- Durdu, L., & Dag, F. (2017). Pre-Service Teachers' TPACK Development and Conceptions through a TPACK-Based Course. *Australian Journal of Teacher Education*, 42(11), 150–171. <https://doi.org/10.14221/ajte.2017v42n11.10>
- Faiz, A., & Purwati. (2021). Peran Filsafat Progresivisme dalam Mengembangkan Kemampuan Calon Pendidik di Abad-21. *Jurnal Education and Development*, 9(1), 131–135. <https://journal.ipts.ac.id/index.php/ED/article/view/2308>
- Farida, K., Zuhroh, Y. E., Afifah, D. S. N., Setiani, R., & Manaf, A. (2020). *Transformasi : Jurnal Pendidikan Matematika dan Matematika*. 4(2), 361–373. <https://doi.org/10.36526/tr.v>
- Jannah, M., & Shalsabila, M. (2025). *Trends And Issues Of TPACK Research In The Last 10 Years : A Bibliometric Analysis*. 1–12. <https://doi.org/10.26811/pjafjr96>
- Janssen, N., Knoef, M., & Lazonder, A. W. (2019). Technological and pedagogical support for pre-service teachers' lesson planning. *Technology, Pedagogy and Education*, 28(1), 115–128. <https://doi.org/10.1080/1475939X.2019.1569554>

- Kunaifi, M. H., & Wahyudi, M. F. (2024). Analisis Kesiapan Guru Dalam Penerapan Kurikulum Merdeka di Sekolah Menengah Pertama. *Jurnal Manajemen Pendidikan*, 1(2), 12–25. <https://journal.univgresik.ac.id/index.php/je/article/view/136>
- Lee, H. Y., Chung, C. Y., & Wei, G. (2022). Research on Technological Pedagogical and Content Knowledge: A Bibliometric Analysis From 2011 to 2020. *Frontiers in Education*, 7(February), 1–14. <https://doi.org/10.3389/educ.2022.765233>
- Made, N., Svari, F. D., & Arlinayanti, K. D. (2024). Perubahan Paradigma Pendidikan Melalui Pemanfaatan Teknologi di Era Global. *Jayapangus Press Metta: Jurnal Ilmu Multidisiplin*, 4, 50–63. <https://jayapanguspress.penerbit.org/index.php/metta>
- Madyopuro, S. D. N., & Malang, K. (2024). *I-Com : Indonesian Community Journal Pelatihan Pengembangan Modul Ajar Berbasis TPACK pada Kurikulum*. 4(4), 2437–2447. <https://doi.org/10.70609/icom.v4i4.5439>
- Mishra, P., & Koehler, M. J. (2006). Technological pedagogical content knowledge: A framework for teacher knowledge. *Teachers College Record*, 108(6), 1017–1054. <https://doi.org/10.1111/j.1467-9620.2006.00684.x>
- Munir, M., & Zumrotus Su'ada, I. (2024). Manajemen Pendidikan Islam di Era Digital: Transformasi dan Tantangan Implementasi Teknologi Pendidikan. *Journal of Islamic Education And Management*, 5(1), 1–13. <https://ejournal.staidapondokkrempyang.ac.id/index.php/jiem/article/view/609>
- Rahmania, R., & Hudri, M. (2024). *Meningkatkan Keterlibatan Siswa melalui Teknologi Pendidikan : Tinjauan Sistematis*. 4, 1–13. <https://journal.ummat.ac.id/index.php/fkip/article/view/25618>
- Rahmawati, F., & Atmojo, I. R. W. (2021). Analisis Media Digital Video Pembelajaran Abad 21 Menggunakan Aplikasi Canva Pada Pembelajaran IPA. *Jurnal Basicedu*, 5(6), 6271–6279. <https://doi.org/10.31004/basicedu.v5i6.1717>
- Sari, M. (2012). Usaha Mengatasi Problematika Pendidikan Sains Di Sekolah Dan Perguruan Tinggi. *Al-Ta Lim Journal*, 19(1), 74–86. <https://doi.org/10.15548/jt.v19i1.9>
- Schmid, M., Brianza, E., & Petko, D. (2021). Self-reported technological pedagogical content knowledge (TPACK) of pre-service teachers in relation to digital technology use in lesson plans. *Computers in Human Behavior*, 115(May 2020). <https://doi.org/10.1016/j.chb.2020.106586>
- Setyawan, D., Firman, M. A., & Sholichin, M. A. (2024). *E-ISSN : 2792-0876 Efektivitas Penggunaan Teknologi sebagai Penunjang Pembelajaran*. 5(3), 811–823. <https://doi.org/10.37274/mauriduna.v5i2.1283>
- Shafie, H., Majid, F. A., & Ismail, I. S. (2019). Technological pedagogical content knowledge (TPACK) in teaching 21st century skills in the 21st century classroom. *Asian Journal of University Education*, 15(3), 24–33. <https://doi.org/10.24191/ajue.v15i3.7818>
- Valtonen, T., Leppänen, U., Hyypiä, M., Sointu, E., Smits, A., & Tondeur, J. (2020). Fresh perspectives on TPACK: pre-service teachers' own appraisal of their challenging and confident TPACK areas. *Education and Information Technologies*, 25(4), 2823–2842. <https://doi.org/10.1007/s10639-019-10092-4>
- Wu, H., Balakrishnan, V., & Cai, X. (2024). *Bibliometric Analysis on Pre-service Teachers' TPACK: A Comparative Research between Web of Science and China National Knowledge Infrastructure from 2010 to 2022*. 172–181. <https://doi.org/10.1145/3661904.3661913>
- Zhou, G., Xu, J., & Martinovic, D. (2017). Developing pre-service teachers' capacity in teaching science with technology through microteaching lesson study approach. *Eurasia Journal of Mathematics, Science and Technology Education*, 13(1), 85–103. <https://doi.org/10.12973/eurasia.2017.00605a>