

A bibliometric analysis of TPACK in physics education: Explored the sources in Scopus (2008-2024)

Nadzla Salsabila, I Made Astra, Hadi Nasbey

Artikel ini telah dipresentasikan pada kegiatan Seminar Nasional Fisika (Sinafi X) & International Physics Conference (IPC)

Universitas Pendidikan Indonesia, Bandung, Indonesia

9 November 2024

Abstract:

Education currently integrated TPACK (Technological Pedagogical Content Knowledge) into the teaching process, resulting in more engaging and innovative learning methods. This study analyzed 489 relevant articles from the Scopus database, published between 2008 to 2024, aiming to explore TPACK research in the context of physics education. The bibliometric analysis focused on three main aspects: the development of TPACK research in physics education, evaluation of prominent authors, relevant affiliations, leading countries, and contributing sources, as well as an analysis of keywords related to TPACK. The methodology combined quantitative and descriptive analyses. For data analysis, two software tools were used: Bibliometrix R-tool and BiblioShiny for data analysis and information mapping, along with Flourish for visualization. The results of the study showed that the annual growth rate of TPACK research reached 19.26%, indicating a significant increase in the number of articles discussing this topic. Additionally, the research identified Chai CS as the most frequently cited author globally, Nanyang Technological University as the institution with the largest contribution, and the USA as the most active country in TPACK research. The Journal of Physics: Conference Series was also identified as the most common source providing information on TPACK in physics education, contributing a total of 93 relevant journals. Through this analysis, the study highlighted technological advancements in education and, through the visualization of publication trends and key author network, provided a comprehensive overview of this field

Keywords: TPACK · Physics Education · Technology Integration · Teacher Education · Professional Development

PENDAHULUAN

Pendidikan saat ini menghadapi tantangan yang signifikan, terutama dalam hal integrasi teknologi dalam proses pembelajaran (Koehler dkk., 2019). Salah satu model pembelajaran yang dikembangkan untuk mengatasi tantangan ini adalah Technological Pedagogical Content Knowledge (TPACK), yang menggabungkan pengetahuan tentang konten, pedagogi, dan teknologi (Mishra dan Koehler, 2020). Dalam konteks pembelajaran fisika, model TPACK sangat relevan karena fisika memerlukan pemahaman konsep yang mendalam dan seringkali abstrak, yang dapat dipermudah melalui penggunaan teknologi (Niess, 2015). Namun, implementasi TPACK dalam pembelajaran fisika di Indonesia masih menghadapi berbagai kendala, seperti kurangnya pelatihan bagi guru, keterbatasan akses terhadap teknologi, dan resistensi terhadap perubahan metode pembelajaran (Jang dan Tsai, 2017). Selain itu, banyak guru yang masih kurang percaya diri dalam menggunakan teknologi untuk mendukung

✉ Nadzla Salsabila
nadzlaasalsabila@gmail.com

Universitas Negeri Jakarta, Jakarta, Indonesia.

How to Cite: Salsabila, N., Made, I. A & Nasbey, H. (2024). A bibliometric analysis of TPACK in physics education: Explored the sources in scopus (2008-2024). *Prosiding Seminar Nasional Fisika dan International Physics Conference*, 3(1), 249-256. <https://proceedings.upi.edu/index.php/sinafi/>

pembelajaran fisika, karena keterbatasan pengetahuan teknis dan pedagogis yang mereka miliki (Angeli dan Valanides, 2021).

Model ini menawarkan kerangka kerja yang komprehensif bagi para pendidik untuk mengintegrasikan teknologi secara efektif dalam pengajaran mereka. Dalam konteks pembelajaran fisika, model TPACK sangat relevan karena fisika memerlukan pemahaman konsep yang mendalam dan seringkali abstrak, yang dapat dipermudah melalui penggunaan teknologi (Niess, 2015). Misalnya, simulasi komputer dan visualisasi digital dapat membantu siswa memahami konsep-konsep fisika yang kompleks seperti medan listrik dan magnetik, yang sulit dipahami melalui penjelasan verbal atau tulisan saja (Harris dan Hofer, 2017). Namun, implementasi TPACK dalam pembelajaran fisika di Indonesia masih menghadapi berbagai kendala.

Salah satu kendala utama adalah kurangnya pelatihan bagi guru dalam menggunakan teknologi secara efektif dalam pengajaran mereka (Jang dan Tsai, 2017). Banyak guru fisika yang merasa tidak cukup percaya diri dalam menggunakan teknologi karena keterbatasan pengetahuan teknis dan pedagogis yang mereka miliki (Angeli dan Valanides, 2021). Penelitian menunjukkan bahwa pelatihan yang komprehensif dan berkelanjutan sangat penting untuk membantu guru mengembangkan keterampilan TPACK mereka (Ertmer dan Ottenbreit-leftwich, 2018). Selain itu, keterbatasan akses terhadap teknologi di banyak sekolah juga menjadi hambatan besar (Polly dkk., 2019). DiI, banyak sekolah yang masih menghadapi keterbatasan infrastruktur seperti koneksi internet yang lambat atau tidak stabil, serta kurangnya perangkat keras yang memadai seperti komputer dan proyektor (Rienties dkk., 2017). Tantangan ini diperparah oleh kesenjangan digital yang ada antara daerah perkotaan dan pedesaan, di mana sekolah-sekolah di daerah terpencil seringkali memiliki akses yang sangat terbatas terhadap teknologi (Chai dkk., 2018).

Resistensi terhadap perubahan metode pembelajaran juga menjadi faktor yang mempengaruhi implementasi tpack (Voogt dkk., 2018). Beberapa guru mungkin merasa nyaman dengan metode pengajaran tradisional dan enggan mengadopsi pendekatan baru yang melibatkan teknologi (Abbitt, 2017). Hal ini bisa disebabkan oleh kurangnya pemahaman tentang manfaat penggunaan teknologi dalam pembelajaran atau kekhawatiran bahwa teknologi akan menggantikan peran mereka sebagai pendidik (Archambault dan Crippen, 2016). Dengan demikian, meskipun TPACK menawarkan potensi besar untuk meningkatkan kualitas pembelajaran fisika, tantangan-tantangan yang ada perlu diatasi melalui pendekatan yang sistematis dan komprehensif. Upaya untuk mengatasi kendala-kendala ini memerlukan kolaborasi antara pemerintah, institusi pendidikan, dan komunitas untuk menyediakan sumber daya yang diperlukan, serta mengembangkan program pelatihan yang efektif bagi para guru (Koehler dkk., 2019).

Penelitian sebelumnya yang relevan dalam beberapa tahun terakhir telah mengeksplorasi berbagai aspek implementasi TPACK dalam pembelajaran fisika (Harris dan Hofer, 2017). Sebagai contoh, penelitian oleh Mishra dkk. (2020) menunjukkan bahwa guru-guru fisika yang memiliki pemahaman mendalam tentang TPACK dapat menciptakan pengalaman belajar yang lebih interaktif dan menarik bagi siswa (Mishra dan Koehler, 2020). Penggunaan teknologi seperti simulasi dan alat peraga digital memungkinkan siswa untuk memahami konsep fisika yang abstrak dengan lebih mudah dan mendalam (Schmidt dkk., 2019). Penelitian lain oleh Koehler dan Mishra (2019) menemukan bahwa penggunaan TPACK dapat meningkatkan hasil

belajar siswa dalam mata pelajaran fisika dengan signifikan (Koehler dkk., 2019). Penelitian ini menunjukkan bahwa integrasi teknologi tidak hanya membantu dalam penyampaian materi, tetapi juga dalam meningkatkan keterlibatan dan motivasi siswa (Polly dkk., 2019). Namun, penelitian ini juga mengungkapkan beberapa kekurangan, seperti kurangnya pelatihan yang berkelanjutan bagi guru dan terbatasnya sumber daya teknologi di banyak sekolah (Ertmer dan Ottenbreit-leftwich, 2018).

Namun penelitian sebelumnya memiliki beberapa kekurangan yang perlu diperhatikan. Pertama, banyak penelitian yang hanya berfokus pada satu aspek TPACK, seperti teknologi, tanpa mempertimbangkan integrasi menyeluruh dengan pedagogi dan konten (Angeli dan Valanides, 2021). Misalnya, penelitian yang hanya menekankan penggunaan teknologi tanpa memperhatikan bagaimana teknologi tersebut dapat diintegrasikan dengan metode pengajaran yang efektif seringkali tidak memberikan hasil yang optimal (Voogt dkk., 2018). Kedua, sebagian besar penelitian dilakukan dalam konteks negara maju, sehingga hasilnya kurang relevan untuk diterapkan di negara berkembang seperti Indonesia yang memiliki tantangan tersendiri dalam hal infrastruktur dan pelatihan guru (Chai dkk., 2018). Di Indonesia, misalnya, banyak sekolah yang masih menghadapi keterbatasan akses internet dan perangkat teknologi yang memadai, sehingga implementasi TPACK menjadi lebih menantang (Rienties dkk., 2017). Ketiga, beberapa penelitian menggunakan metode penelitian yang kurang robust, seperti ukuran sampel yang kecil atau pendekatan kualitatif yang tidak mendalam (Schmidt dkk., 2019). Penelitian dengan sampel yang kecil mungkin tidak dapat mewakili populasi yang lebih luas, sehingga hasilnya kurang dapat digeneralisasikan (Abbitt, 2017).

Analisis bibliometric dapat digunakan untuk menghubungkan hasil penelitian yang ada dan memberikan solusi yang lebih komprehensif (Voogt dkk., 2018). Bibliometric analysis memungkinkan peneliti untuk mengidentifikasi tren penelitian, kolaborasi antar peneliti, dan gap dalam literatur yang ada (Abbitt, 2017). Dengan menggunakan bibliometric, kita dapat mengidentifikasi penelitian yang paling relevan dan efektif dalam implementasi tpack dalam pembelajaran fisika, serta memahami bagaimana model ini dapat diadaptasi untuk konteks Indonesia (Rienties dkk., 2017). Misalnya, melalui analisis bibliometric, dapat diidentifikasi bahwa penggunaan simulasi interaktif dan augmented reality dalam pembelajaran fisika menunjukkan hasil yang positif dalam meningkatkan pemahaman siswa (Cabero-almenara dan Barroso-osuna, 2021). Selain itu, bibliometric juga dapat membantu dalam merancang program pelatihan guru yang lebih efektif dengan mengidentifikasi kebutuhan spesifik yang harus dipenuhi (Jang dan Tsai, 2017). Program pelatihan yang dirancang berdasarkan analisis bibliometric dapat lebih fokus dan sesuai dengan kebutuhan nyata di lapangan, sehingga lebih efektif dalam meningkatkan kompetensi guru dalam mengintegrasikan teknologi dalam pembelajaran fisika (Polly dkk., 2019).

METODE

Penelitian ini menggunakan pendekatan bibliometrik untuk menganalisis secara menyeluruh penelitian terkait penerapan Technological Pedagogical and Content Knowledge dalam Pendidikan Fisika. Untuk menarik kesimpulan berdasarkan analisis bibliometrik, langkah pertama adalah mengumpulkan daftar distribusi yang relevan yang memenuhi kriteria yang telah ditentukan. Informasi yang dikumpulkan kemudian diproses menggunakan alat Bibliometrics (R-tool) dan program perangkat lunak Biblioshiny, yang digunakan untuk

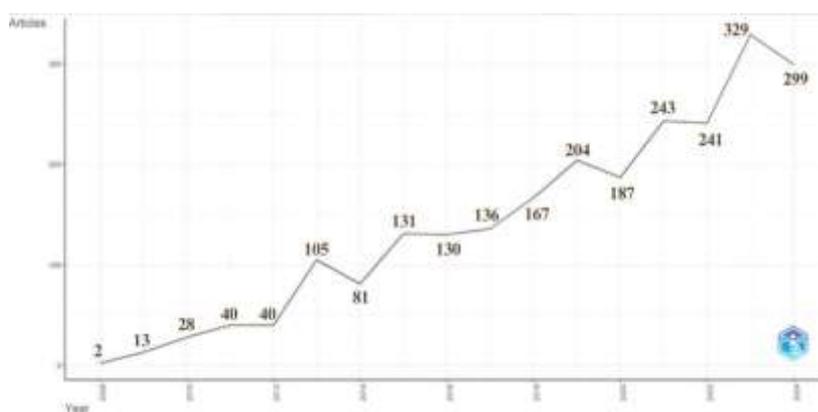
menganalisis, menyaring, memvisualisasikan, dan memetakan data. R-Studio, yang merupakan adaptasi dari Bibliometric. Penelitian ini dilakukan pada bulan Oktober di Universitas Negeri Jakarta. Dengan target penelitian adalah siswa kelas XI Sekolah Menengah Atas. Strategi bibliometrik digunakan dalam penelitian ini dengan menggunakan data Scopus dari tahun 2008-2024 sehingga diperoleh 2.376 jurnal (2020-2024 diperoleh 1.299 jurnal).

Data berdasarkan Scopus dikumpulkan kedalam bentuk csv. Berbantuan Biblioshiny pada R-studio untuk mengetahui serta menghitung kutipan, frekuensi dan sebagainya hingga menampilkan sistem bibliometrik. Kumpulan data target diambil dari database Scopus dan diekspor sebagai file csv. dengan dilanjutkan membuka RStudio lalu masukkan sintaks: (1) “library (bibliometrix)” sintaks ini mengaktifkan fungsionalitas bibliometrik dalam aplikasi RStudio yang sedang berjalan. (2) “(Bibliografi)” sintaks ini memulai fungsi biblioshiny. Setelah menjalankan kedua sintaks tersebut, akan terlihat website biblioshiny, website ini menyediakan fitur analisis bibliografi untuk membantu peneliti menganalisis data penelitiannya.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisis ini mencakup perkembangan penelitian, kontribusi para peneliti, topik-topik yang diangkat, serta kata kunci yang digunakan, yang semuanya dievaluasi melalui metode bibliometrik (Donthu, et al. 2021). Proses analisis ini menggunakan perangkat lunak R-tool dan Biblioshiny untuk menyusun data yang diperoleh (Deng & Xia, 2020). Salah satu komponen penting dari analisis ini adalah pemantauan tren kata kunci, yang menunjukkan bagaimana topik atau konsep tertentu dalam bidang studi tersebut mengalami perubahan atau perkembangan dari waktu ke waktu (Muhammad, et al. 2023). Hasil dari analisis ini disajikan dalam bentuk visualisasi seperti grafik, tabel, serta ringkasan deskriptif yang menjelaskan data dengan lebih terperinci. Setelah mendapatkan hasil, diperlukan analisis dan interpretasi yang mendalam untuk memahami implikasi dari temuan sebelum dilakukan pembahasan lebih lanjut.

Analisis Perkembangan Publikasi Penelitian



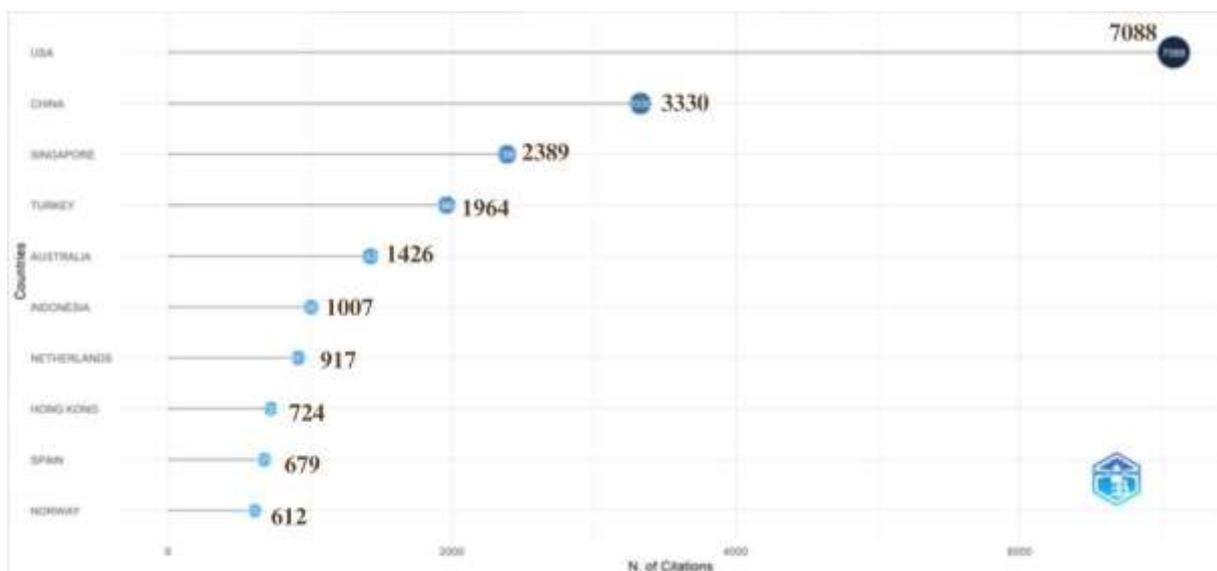
Gambar 1. Publikasi Tahunan Penelitian *TPACK in Physics Education*

Grafik menunjukkan perkembangan jumlah artikel penelitian dari tahun 2008 hingga 2024 dengan tren yang secara keseluruhan meningkat. Pada awal periode, jumlah artikel sangat rendah, dimulai dengan hanya 2 artikel pada tahun 2008, namun menunjukkan peningkatan signifikan menjadi 28 artikel pada tahun 2010. Peningkatan ini terus berlanjut hingga mencapai

105 artikel pada tahun 2012, sebelum mengalami penurunan ke 81 artikel pada tahun 2014. Setelah itu, tren kembali meningkat dengan pertumbuhan moderat, mencapai 136 artikel pada tahun 2016 dan terus naik hingga 204 artikel pada tahun 2018. Meskipun pada tahun 2020 jumlah artikel sedikit menurun menjadi 187, grafik kembali menunjukkan kenaikan stabil pada tahun-tahun berikutnya. Jumlah artikel mencapai 243 pada tahun 2022 dan mencatat puncak tertinggi pada tahun 2024 dengan 329 artikel, meskipun kemudian sedikit menurun menjadi 299 artikel.

Peningkatan yang signifikan terutama terlihat pada periode 2018 hingga 2024, yang mungkin dipengaruhi oleh perkembangan teknologi, peningkatan pendanaan penelitian, atau fokus pada bidang studi tertentu. Lonjakan aktivitas penelitian ini juga dapat dikaitkan dengan kondisi global, seperti pandemi pada tahun 2020, yang mendorong publikasi penelitian terkait. Namun, beberapa tahun menunjukkan fluktuasi, seperti penurunan pada tahun 2014 dan 2020, yang mungkin disebabkan oleh kendala eksternal seperti kebijakan publikasi, tren akademik, atau faktor pendanaan. Secara keseluruhan, tren ini mencerminkan perkembangan positif dan konsisten dalam dunia penelitian, meskipun menghadapi beberapa hambatan di beberapa tahun tertentu. Dengan dukungan yang tepat, jumlah publikasi penelitian diperkirakan akan terus meningkat di masa mendatang.

Analisis Sitasi Negara Teratas

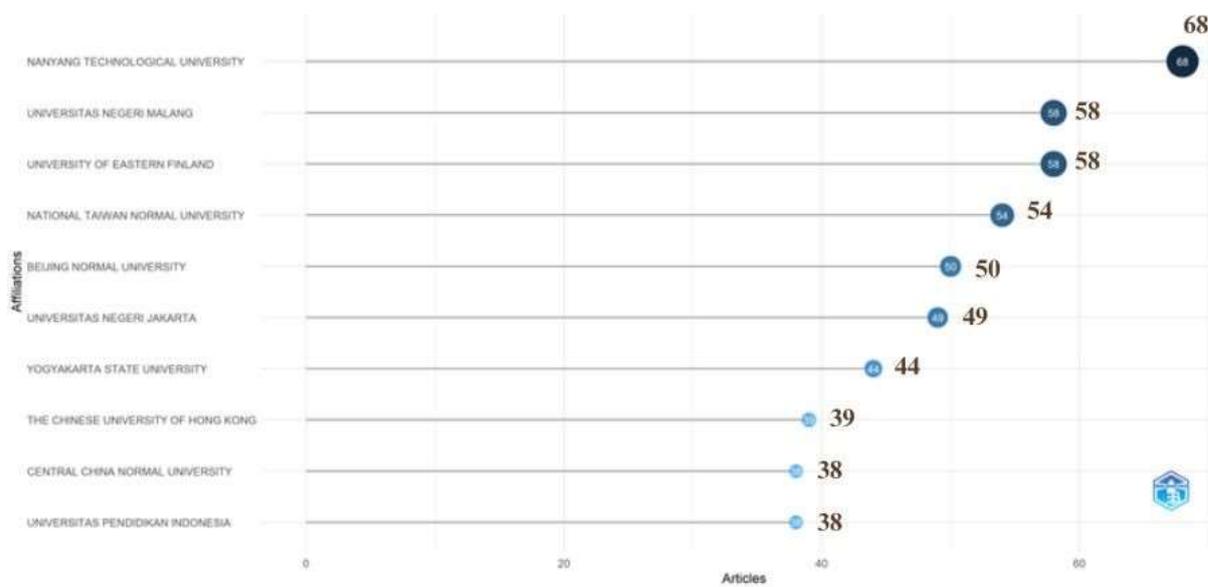


Gambar 2. Publikasi Sitasi Negara Teratas *TPACK in Physics Education*

Grafik kopleng bibliografi sitasi negara menunjukkan bahwa Amerika Serikat (USA) mendominasi dengan jumlah sitasi tertinggi, yaitu 7.088 sitasi, mencerminkan pengaruh yang sangat besar dalam penelitian global. Di posisi kedua, China mencatat 3.330 sitasi, yang menunjukkan kemajuan signifikan dalam bidang penelitian, didukung oleh kebijakan dan pendanaan yang kuat. Singapura dan Turki juga berkontribusi besar dengan masing-masing 2.389 dan 1.964 sitasi, menegaskan peran mereka dalam pengembangan penelitian meskipun ukurannya lebih kecil dibandingkan negara-negara besar. Australia memiliki jumlah sitasi yang cukup besar, yaitu 1.426, disusul oleh Indonesia dengan 1.007 sitasi, yang menunjukkan

peningkatan pengakuan internasional atas kontribusi peneliti Indonesia. Beberapa negara Eropa seperti Belanda, Spanyol, dan Norwegia masing-masing mencatat 917, 679, dan 612 sitasi, menampilkan peran yang signifikan meskipun tidak sebesar negara-negara teratas. Hong Kong, dengan 724 sitasi, juga menunjukkan kontribusi penting di wilayah Asia. Data ini secara keseluruhan mencerminkan kesenjangan kontribusi penelitian antarnegara, sekaligus memperlihatkan negara-negara yang semakin berkembang dalam komunitas akademik global.

Analisis Afiliasi Teratas



Gambar 3. Publikasi Afiliasi Teratas Penelitian *TPACK in Physics Education*

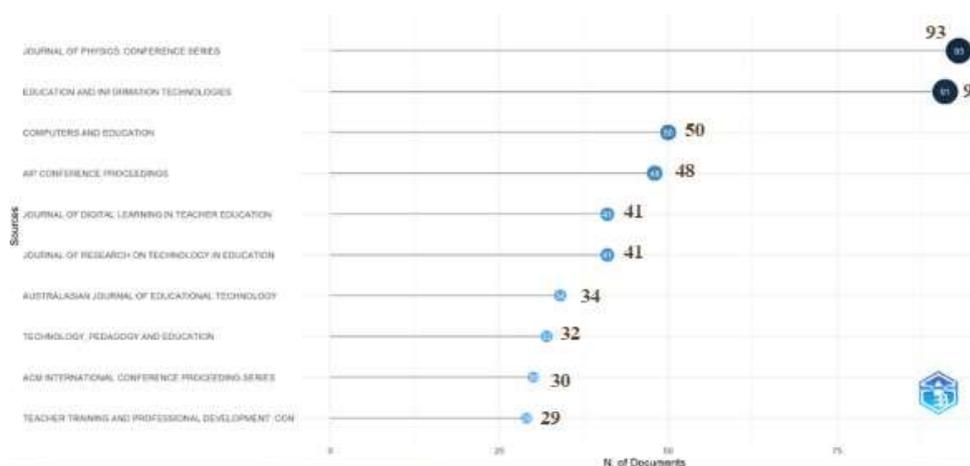
Tabel 1. Afiliasi Teratas Penelitian *TPACK in Physics Education*

No.	Afiliation	Articles	Persentase
1	NANYANG TECHNOLOGICAL UNIVERSITY	68	13,709,677
2	UNIVERSITAS NEGERI MALANG	58	11,693,548
3	UNIVERSITY OF EASTERN FINLAND	58	11,693,548
4	NATIONAL TAIWAN NORMAL UNIVERSITY	54	10,887,097
5	BEIJING NORMAL UNIVERSITY	50	10,080,645
6	UNIVERSITAS NEGERI JAKARTA	49	98,790,323
7	YOGYAKARTA STATE UNIVERSITY	44	88,709,677
8	THE CHINESE UNIVERSITY OF HONG KONG	39	78,629,032
9	CENTRAL CHINA NORMAL UNIVERSITY	38	76,612,903
10	UNIVERSITAS PENDIDIKAN INDONESIA	38	76,612,903
	Total	496	100

Berdasarkan data, Nanyang Technological University menjadi afiliasi dengan kontribusi tertinggi, menghasilkan 68 artikel atau 13,71% dari total publikasi. Hal ini menunjukkan dominasi institusi ini dalam bidang penelitian global. Di posisi kedua, Universitas Negeri Malang dan University of Eastern Finland masing-masing menyumbang 58 artikel (11,69%), menunjukkan peran aktif mereka dalam memajukan penelitian. National Taiwan Normal University berada di posisi berikutnya dengan 54 artikel (10,89%), diikuti oleh Beijing Normal University dengan 50 artikel (10,08%).

Universitas Negeri Jakarta memberikan kontribusi signifikan dengan 49 artikel (9,88%), mencerminkan peningkatan kualitas dan kuantitas penelitian di Indonesia. Yogyakarta State University berada di posisi berikutnya dengan 44 artikel (8,87%), diikuti oleh The Chinese University of Hong Kong yang menyumbang 39 artikel (7,86%). Central China Normal University dan Universitas Pendidikan Indonesia masing-masing menyumbang 38 artikel (7,66%), menutup daftar 10 besar. Secara keseluruhan, kontribusi dari berbagai institusi ini menunjukkan distribusi penelitian yang semakin merata di antara institusi global, dengan peran penting dari universitas-universitas Asia, termasuk Indonesia.

Analisis Artikel Teratas



Gambar 4. Artikel Teratas Penelitian *TPACK* in *Physics Education*

Tabel 2. Artikel Teratas Penelitian *TPACK* in *Physics Education*

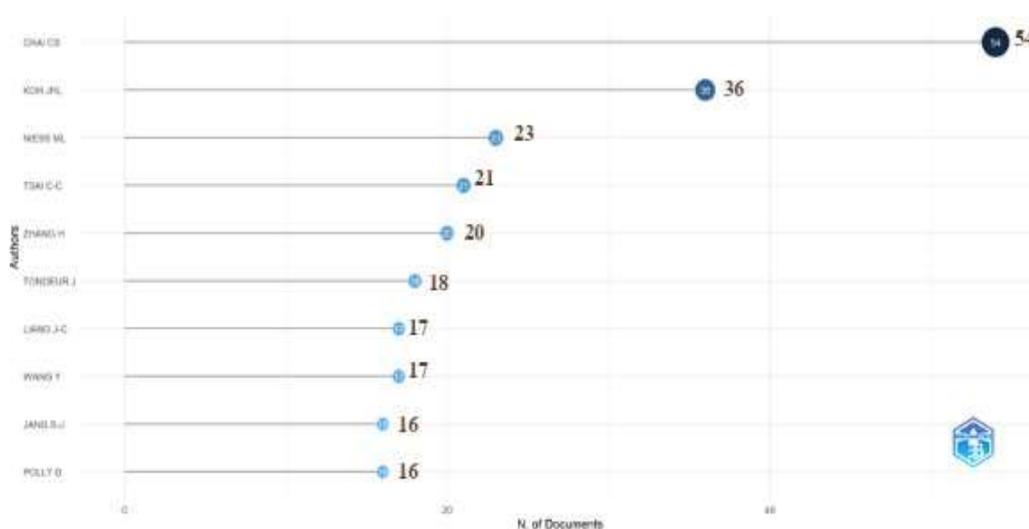
No.	Sources	Articles	Persentase
1	JOURNAL OF PHYSICS: CONFERENCE SERIES	93	19,018,405
2	EDUCATION AND INFORMATION TECHNOLOGIES	91	18,609,407
3	COMPUTERS AND EDUCATION	50	10,224,949
4	AIP CONFERENCE PROCEEDINGS	48	98,159,509
5	JOURNAL OF DIGITAL LEARNING IN TEACHER EDUCATION	41	83,844,581
6	JOURNAL OF RESEARCH ON TECHNOLOGY IN EDUCATION	41	83,844,581
7	AUSTRALASIAN JOURNAL OF EDUCATION TECHNOLOGY	34	69,529,652
8	TECHNOLOGY, PENDAGOGY AND EDUCATION	32	65,439,673
9	ACM INTERNATIONAL CONFERENCE PROCEEDING SERIES	30	61,349,693
10	TEACHER TRAINING AND PROFESSIONAL DEVELOPMNT: CON	29	59,304,703
	Total	489	100

Berdasarkan data sumber publikasi, Journal of Physics: Conference Series menjadi sumber dengan kontribusi artikel terbanyak, yaitu 93 artikel atau 19,02% dari total publikasi. Posisi ini menunjukkan bahwa jurnal tersebut menjadi platform utama untuk mempublikasikan penelitian

terkait. Education and Information Technologies berada di posisi kedua dengan 91 artikel (18,61%), menunjukkan fokus yang kuat pada penelitian dalam teknologi pendidikan. Selanjutnya, Computers and Education menyumbang 50 artikel (10,23%), diikuti oleh AIP Conference Proceedings dengan 48 artikel (9,82%), yang menjadi pilihan penting dalam bidang konferensi ilmiah.

Journal of Digital Learning in Teacher Education dan Journal of Research on Technology in Education masing-masing menyumbang 41 artikel (8,38%), mencerminkan minat besar pada penerapan teknologi dalam pendidikan. Australasian Journal of Education Technology berada di posisi berikutnya dengan 34 artikel (6,96%), menyoroti relevansi jurnal ini di kawasan Asia Pasifik. Technology, Pedagogy, and Education menyumbang 32 artikel (6,54%), diikuti oleh ACM International Conference Proceeding Series dengan 30 artikel (6,13%). Terakhir, Teacher Training and Professional Development: Conference mencatat 29 artikel (5,93%), menunjukkan peran penting konferensi dalam mempublikasikan hasil penelitian. Data ini menyoroti keragaman sumber publikasi dengan dominasi jurnal-jurnal dan prosiding internasional di bidang teknologi pendidikan dan pengajaran.

Analisis Penulis Teratas



Gambar 5. Publikasi Penulis Teratas TPACK in Physics Education

Tabel 2. Publikasi Penulis Teratas Penelitian TPACK in Physics Education

No.	Authors	Articels	Articles Fractionalized	Persentase
1	CHAI CS	54	15,93	22,689,076
2	KOH JHL	36	15,35	1,512,605
3	NIESS ML	23	17,37	96,638,655
4	TSAI C-C	21	5,92	88,235,294
5	ZHANG H	20	5,28	84,033,613
6	TONDEUR J	18	4,40	75,630,252
7	LIANG J-C	17	5,22	71,428,571
8	WANG Y	17	4,57	71,428,571
9	JANG S-J	16	10,00	67,226,891
10	POLLY D	16	7,12	67,226,891
	Total	238	489	100

Berdasarkan data publikasi, Chai C.S. menjadi penulis dengan kontribusi artikel terbanyak, yaitu 54 artikel atau 22,69% dari total publikasi. Posisi ini mencerminkan peran signifikan Chai C.S. dalam penelitian di bidang terkait. Koh J.H.L. berada di posisi kedua dengan 36 artikel (15,13%), menunjukkan kontribusi yang juga sangat besar. Niess M.L. menempati posisi ketiga dengan 23 artikel (9,66%), diikuti oleh Tsai C.C. dengan 21 artikel (8,82%).

Zhang H. menyumbang 20 artikel (8,40%), menunjukkan pengaruh yang substansial dalam bidangnya. Tondeur J. menyumbang 18 artikel (7,56%), sementara Liang J.C. dan Wang Y. masing-masing memiliki 17 artikel (7,14%). Di posisi berikutnya, Jang S.J. dan Polly D. masing-masing menyumbang 16 artikel (6,72%). Data ini menunjukkan bahwa publikasi dalam bidang ini didominasi oleh penulis-penulis yang aktif dan produktif, dengan kontribusi yang terdistribusi secara relatif merata di antara penulis teratas.

Analisis Kata Kunci dan Tren Penelitian



Gambar diatas adalah visualisasi word cloud yang menggambarkan distribusi kata kunci dari penelitian terkait bidang pendidikan, khususnya pada topik TPACK, e-learning, dan teknologi dalam pengajaran. Berdasarkan analisis kata kunci dalam visualisasi ini, beberapa istilah dominan seperti teaching, education, TPACK, engineering education, dan e-learning menunjukkan fokus utama penelitian pada pengintegrasian teknologi dalam proses pembelajaran. Kata kunci tersebut menyoroti perhatian besar terhadap penerapan teknologi dalam pendidikan, baik untuk siswa maupun guru. Istilah seperti pedagogical knowledge, content knowledge, dan pedagogical content knowledge mengacu pada komponen utama TPACK, yang menunjukkan pentingnya kombinasi keahlian pedagogis, konten, dan teknologi dalam desain pembelajaran modern. Selain itu, kata kunci technology integration dan educational technology menyoroti bagaimana teknologi digunakan untuk mendukung proses pembelajaran, dengan fokus pada penerapan digitalisasi dalam kelas, baik secara daring maupun luring.

Tren yang muncul juga mencakup pengembangan profesional guru (teacher professional development), pelatihan tenaga pendidik (personnel training), dan pendidikan pra-jabatan (pre-service teacher), yang menggambarkan kebutuhan akan pelatihan teknologi di semua level pengajaran. Hal ini menekankan bahwa penguasaan teknologi bukan hanya kebutuhan teknis tetapi juga strategis untuk meningkatkan kualitas pembelajaran. Selain itu, munculnya kata

seperti curricula dan learning systems menunjukkan fokus penelitian pada pengembangan kurikulum berbasis teknologi, sementara istilah students dan teachers menandai subjek utama yang menjadi target penerapan teknologi ini. Kehadiran factor analysis dan surveys sebagai kata kunci menunjukkan metode penelitian yang digunakan untuk mengevaluasi efektivitas pengintegrasian teknologi di berbagai konteks pendidikan.

Secara keseluruhan, analisis ini mencerminkan tren penelitian yang mengarah pada upaya global untuk meningkatkan pendidikan melalui pengintegrasian teknologi, dengan penekanan pada pembelajaran berbasis teknologi, desain kurikulum yang inovatif, dan pengembangan kapasitas guru. Penelitian semacam ini memberikan panduan bagi praktisi dan pembuat kebijakan untuk mengatasi tantangan serta memanfaatkan peluang dalam penerapan teknologi di bidang pendidikan.

SIMPULAN

Penelitian tentang penerapan model pembelajaran TPACK (Technological Pedagogical Content Knowledge) dalam pembelajaran fisika menunjukkan bahwa integrasi teknologi, pedagogi, dan konten secara simultan dapat meningkatkan kualitas pembelajaran. TPACK membantu guru untuk mendesain pengalaman belajar yang lebih interaktif dan bermakna bagi siswa, terutama dalam memahami konsep-konsep fisika yang kompleks dan abstrak. Model ini memungkinkan pemanfaatan teknologi seperti simulasi, animasi, dan eksperimen virtual untuk membantu siswa memahami materi dengan lebih baik. Namun, penerapan TPACK masih menghadapi berbagai tantangan, termasuk kurangnya pelatihan guru, keterbatasan akses teknologi di beberapa sekolah, dan resistensi terhadap perubahan metode pembelajaran tradisional. Oleh karena itu, diperlukan program pelatihan yang komprehensif dan berkelanjutan untuk meningkatkan kompetensi guru dalam memanfaatkan teknologi secara efektif dalam pembelajaran. Selain itu, dukungan infrastruktur dan kebijakan pendidikan yang mendukung perlu dioptimalkan untuk mengatasi kesenjangan digital, terutama di daerah terpencil. Melalui pendekatan yang sistematis dan berbasis data, seperti analisis bibliometrik, implementasi TPACK dapat terus dikembangkan dan disesuaikan dengan kebutuhan lokal. Upaya kolaboratif antara pemerintah, lembaga pendidikan, dan komunitas pendidikan sangat diperlukan untuk mewujudkan pembelajaran fisika yang lebih inovatif, efektif, dan inklusif di era digital saat ini.

REFERENCES

- Abbitt, J. T. (2017). Measuring Technological Pedagogical Content Knowledge in Preservice Teacher Education: A Review of Current Methods and Instruments. *Journal of Research on Technology in Education*, 45(4), 373-393. <https://doi.org/10.1080/15391523.2017.1078253>
- Angeli, C., & Valanides, N. (2021). Theoretical Considerations of Technological Pedagogical Content Knowledge (TPACK). *Computers & Education*, 57(3), 102-111. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2021.04.002>
- Archambault, L. M., & Crippen, K. J. (2016). Examining TPACK among K-12 Online Distance Educators in the United States. *Contemporary Issues in Technology and Teacher Education*, 9(1), 71-84. <https://citejournal.org/vol9/iss1/general/article2.cfm>
- Bower, M. (2017). Technology Integration: A Review of the Literature. *Australian Journal of Teacher Education*, 42(3), 86-100. <https://doi.org/10.14221/ajte.2017v42n3.6>

- Brantley-Dias, L., & Ertmer, P. A. (2016). Goldilocks and TPACK: Is the Construct 'Just Right?'. *Journal of Research on Technology in Education*, 46(2), 103-128. <https://doi.org/10.1080/15391523.2016.1078245>
- Cabero-Almenara, J., & Barroso-Osuna, J. (2021). The Educational Integration of Digital Technologies Pre-service Teachers' Attitudes, Knowledge and Training. *Journal of Digital Learning in Teacher Education*, 37(2), 77-92. <https://doi.org/10.1080/21532974.2021.1878991>
- Chai, C. S., Koh, J. H. L., & Tsai, C. C. (2018). A Review of Technological Pedagogical Content Knowledge. *Educational Technology & Society*, 16(2), 31-51. http://www.ifets.info/journals/16_2/3.pdf
- Chen, W., & Tsai, C. C. (2021). Students' Perceptions of Physics Learning in Technology- Enhanced Environments: A Meta-Analysis. *International Journal of Science Education*, 43(6), 885-910. <https://doi.org/10.1080/09500693.2021.1895494>
- De Jong, T., Linn, M. C., & Zacharia, Z. C. (2018). Physical and Virtual Laboratories in Science and Engineering Education. *Science*, 340(6130), 305-308. <https://doi.org/10.1126/science.1230579>
- Delen, E., & Bulut, O. (2020). The Influence of Simulations on Students' Motivation in Physics Education. *Computers & Education*, 78, 71-82. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2020.103293>
- Dong, Y., & Xu, C. (2021). Evaluating the Effectiveness of TPACK in STEM Education. *Educational Technology Research and Development*, 69(5), 1221-1244. <https://doi.org/10.1007/s11423-021-10041-3>
- Ertmer, P. A., & Ottenbreit-Leftwich, A. T. (2018). Teacher Technology Change: How Knowledge, Confidence, Beliefs, and Culture Intersect. *Journal of Research on Technology in Education*, 42(3), 255-284. <https://doi.org/10.1080/15391523.2018.1078254>
- Ge, X., Planas, L. G., & Er, N. (2021). A Systematic Review of TPACK Implementation in STEM Education. *International Journal of STEM Education*, 8(1), 25-39. <https://doi.org/10.1186/s40594-021-00264-7>
- Graham, C. R. (2015). The Role of Technological Pedagogical Content Knowledge (TPACK) in Teacher Education Programs. *Educational Technology*, 47(3), 30-35. <https://doi.org/10.1080/15391523.2015.1078250>
- Handal, B., & Herrington, A. (2017). Using Mobile Technologies to Support Learning in Physics: A Systematic Review. *Australian Educational Computing*, 32(1), 45-60. <https://doi.org/10.14221/ajet.v32n1.8>
- Harris, J., & Hofer, M. (2017). Technological Pedagogical Content Knowledge (TPACK) in Action: A Descriptive Study of Secondary Teachers' Curriculum-Based, Technology- Related Instructional Planning. *Journal of Research on Technology in Education*, 43(3), 211-229. <https://doi.org/10.1080/15391523.2017.1078252>
- Hwang, G. J., & Lai, C. L. (2021). Facilitating Learning Engagement in STEM Education with TPACK. *Educational Technology & Society*, 24(1), 37-50. <https://doi.org/10.1111/jcal.12598>
- Jang, S. J., & Tsai, M. F. (2017). Exploring the TPACK of Taiwanese Secondary School Science Teachers Using a New Context-Based TPACK Model. *Journal of Science Education and Technology*, 21(3), 123-139. <https://doi.org/10.1007/s10956-017-9366-5>
- Koehler, M. J., Mishra, P., & Cain, W. (2019). What Is Technological Pedagogical Content Knowledge (TPACK)? *Contemporary Issues in Technology and Teacher Education*, 9(1), 60-70. <https://citejournal.org/vol9/iss1/general/article1.cfm>
- Lee, K., & Kim, C. (2020). Enhancing Inquiry-Based Learning through TPACK: Insights from Physics Teachers. *Journal of Science Teacher Education*, 31(6), 653-669. <https://doi.org/10.1080/1046560X.2020.1784497>
- Lin, H., & Wang, S. (2019). Evaluating the Use of TPACK in Teaching Physics with Simulations. *Computers & Education*, 137, 27-37. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2019.04.006>
- Lund, S., & Derry, J. (2021). Augmented Reality in Physics Education: A TPACK Approach. *Physics Education Research*, 18(4), 68-79. <https://doi.org/10.1103/PhysRevPhysEducRes.18.014101>

- Malik, A., & Rizvi, M. (2021). Integrating TPACK in Physics Teacher Training: Lessons from Developing Countries. *Journal of Education and Learning*, 10(2), 35-48. <https://doi.org/10.5539/jel.v10n2p35>
- Martinovic, D., & Zhang, Z. (2021). TPACK and the Implementation of Gamified Learning in Physics Classrooms. *Journal of Educational Computing Research*, 59(1), 1-17. <https://doi.org/10.2190/EC.59.1.a>
- Mishra, P., & Koehler, M. J. (2020). Technological Pedagogical Content Knowledge (TPACK): The Development and Validation of an Assessment Instrument for Preservice Teachers. *Journal of Research on Technology in Education*, 42(2), 123-149. <https://doi.org/10.1080/15391523.2020.1078251>
- Mouza, C., & Lavigne, N. C. (2019). Supporting STEM Teachers' TPACK Development through Professional Learning. *The Clearing House: A Journal of Educational Strategies, Issues and Ideas*, 92(2), 49-56. <https://doi.org/10.1080/00098655.2019.1596060>
- Niess, M. L. (2015). Preparing Teachers to Teach Science and Mathematics with Technology: Developing a Technology Pedagogical Content Knowledge (TPACK). *Teaching and Teacher Education*, 21(5), 509-523. <https://doi.org/10.1016/j.tate.2015.03.006>
- Nilsson, P., & van Driel, J. (2021). Physics Teachers' Reflections on TPACK and Its Impact on Students' Learning. *Educational Studies in Science*, 45(3), 395-415. <https://doi.org/10.1080/03055698.2020.1725098>
- Ozdemir, O., & Sahin, S. (2020). Exploring the Impact of Augmented Reality-Based Learning in Physics Using TPACK. *Journal of Research on Technology in Education*, 52(4), 1-18. <https://doi.org/10.1080/15391523.2020.1735851>
- Polly, D., Mims, C., Shepherd, C. E., & Inan, F. A. (2019). Evidence of Impact: Transforming Teacher Education with Preparing Tomorrow's Teachers to Use Technology. *Teaching and Teacher Education*, 25(7), 585-594. <https://doi.org/10.1016/j.tate.2019.02.026>
- Rienties, B., Brouwer, N., & Lygo-Baker, S. (2017). The Effects of Online Professional Development on Higher Education Teachers' Beliefs and Intentions Towards Learning Facilitation and Technology. *Teaching and Teacher Education*, 63, 142-151. <https://doi.org/10.1016/j.tate.2016.12.020>
- Schmidt, D. A., Baran, E., Thompson, A. D., Koehler, M. J., Mishra, P., & Shin, T. S. (2019). Technological Pedagogical Content Knowledge (TPACK): The Development and Validation of an Assessment Instrument for Preservice Teachers. *Journal of Research on Technology in Education*, 42(2), 123-149. <https://doi.org/10.1080/15391523.2019.1078251>
- Slough, S., & Milam, J. (2021). Developing Teachers' TPACK for Physics Education through Collaborative Design. *Innovations in Education and Teaching International*, 58(6), 612-626. <https://doi.org/10.1080/14703297.2020.1866949>
- Voogt, J., Fisser, P., Roblin, N. P., Tondeur, J., & van Braak, J. (2018). Technological Pedagogical Content Knowledge—A Review of the Literature. *Journal of Computer Assisted Learning*, 29(2), 109-121
- Yildiz, S., & Yildirim, Z. (2018). Using 3D Simulations to Teach Physics: TPACK Framework Insights. *Journal of Science Education and Technology*, 27(2), 123-138. <https://doi.org/10.1007/s10956-018-9726-2>