
ANALISIS BIBLIOMETRIK TERHADAP TREN PENELITIAN KOMPETENSI DIGITAL DALAM PENDIDIKAN GURU SAINS BERDASARKAN BASIS DATA SCOPUS (2020–2025)

Nuri Nuri

Universitas Negeri Semarang, Semarang Indonesia,

*Email korespondensi:

nuri.indramayu@gmail.com

ABSTRAK

Transformasi digital pendidikan pascapandemi menuntut calon guru sains memiliki kompetensi digital yang kuat. Namun, penelitian terkait masih terfragmentasi dan belum mengintegrasikan secara optimal pengembangan model pembelajaran digital dengan pembentukan kompetensi digital. Penelitian ini bertujuan memetakan lanskap riset global, mengkaji struktur intelektual, serta mengidentifikasi kesenjangan penelitian dalam bidang tersebut. Pendekatan bibliometrik kuantitatif digunakan dengan data publikasi Scopus periode 2020–2025. Sebanyak 30 dokumen terpilih melalui prosedur PRISMA dianalisis menggunakan Bibliometrix (R) untuk mengkaji tren publikasi, sitasi, produktivitas penulis, serta pola kolaborasi dan tema penelitian. Hasil menunjukkan tren publikasi yang meningkat dengan lonjakan sitasi pada 2021 seiring pergeseran global ke pembelajaran digital. Publikasi didominasi oleh negara Asia dan Eropa, sementara kontribusi negara berkembang masih terbatas. Tema utama meliputi TPACK, inovasi pedagogi, pendidikan calon guru, dan kompetensi abad ke-21. Namun, integrasi antara desain pembelajaran digital dan pengembangan kompetensi digital masih lemah. Penelitian ini menegaskan pentingnya pengembangan kerangka pembelajaran digital yang integratif, kontekstual, dan berkelanjutan guna mendukung transformasi pendidikan guru sains secara lebih inklusif.

.Kata kunci: digital competence; pre-service science teachers; digital learning; bibliometric

PENDAHULUAN

Perkembangan pesat teknologi digital pada era Revolusi Industri 4.0 dan Society 5.0 menuntut calon guru Ilmu Pengetahuan Alam (IPA) memiliki kompetensi digital yang kuat sebagai prasyarat profesionalisme pendidik abad ke-21. Kompetensi digital tidak hanya mencakup kemampuan menggunakan perangkat dan aplikasi teknologi, tetapi juga meliputi keterampilan pedagogis digital, literasi informasi, pemanfaatan media digital secara kritis, serta kemampuan merancang pembelajaran inovatif berbasis teknologi (Starkey, 2020; Falloon, 2020). Namun, berbagai hasil penelitian menunjukkan bahwa kompetensi digital calon guru IPA masih belum berkembang secara optimal, khususnya dalam mengintegrasikan teknologi digital secara pedagogis dan kontekstual dalam pembelajaran sains (Pepin et al., 2021; Thurm & Barzel, 2022). Kondisi ini salah satunya disebabkan oleh belum tersedianya model pembelajaran berbasis digital yang dirancang secara sistematis, selaras dengan karakteristik materi IPA, serta sesuai dengan kebutuhan pengembangan profesional calon guru (Huang et al., 2022). Oleh karena itu, pengembangan model pembelajaran berbasis digital menjadi strategi penting untuk meningkatkan kompetensi digital calon guru IPA secara holistik. Kajian ini didasarkan pada analisis terhadap publikasi ilmiah yang bersumber dari jurnal bereputasi internasional terindeks Scopus pada rentang tahun 2020–2025, yang merepresentasikan perkembangan mutakhir penelitian terkait pembelajaran digital dan kompetensi digital guru.

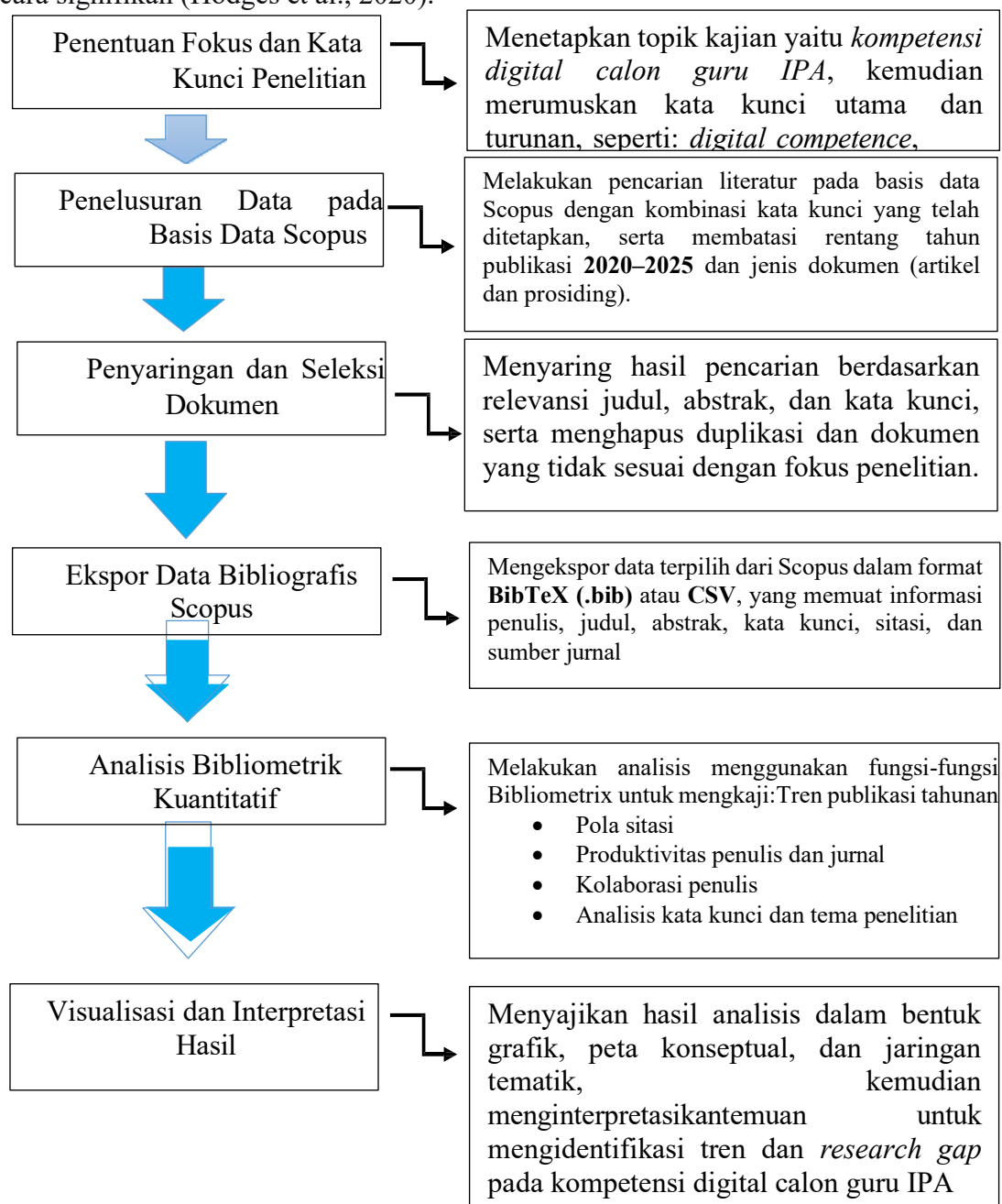
Berdasarkan kajian bibliometrik terhadap publikasi yang membahas transformasi pembelajaran IPA, model pembelajaran digital, dan kompetensi digital calon guru, masih ditemukan adanya *research gap* yang signifikan. Secara umum, literatur menunjukkan bahwa penelitian tentang transformasi pembelajaran IPA lebih banyak berfokus pada integrasi teknologi digital sebagai media atau alat bantu pembelajaran (Cheng & Oon, 2022), sementara kajian mengenai model pembelajaran digital cenderung menekankan aspek desain instruksional dan efektivitas pembelajaran (Istenic et al., 2021). Namun demikian, keterkaitan langsung antara penerapan model pembelajaran digital dalam konteks pembelajaran IPA dengan pengembangan kompetensi digital calon guru masih relatif terbatas dan terfragmentasi (Voogt et al., 2023). Analisis sitasi menunjukkan bahwa penelitian-penelitian tersebut berkembang secara paralel, tetapi belum terintegrasi dalam satu kerangka konseptual yang komprehensif.

Selain itu, sebagian besar studi masih berorientasi pada hasil belajar siswa (Zhu et al., 2020), sehingga aspek kesiapan, penguasaan, dan peningkatan kompetensi digital calon guru IPA sebagai agen utama transformasi pembelajaran belum mendapat perhatian yang memadai (Bakir & Alharbi, 2024). Kondisi ini mengindikasikan adanya celah penelitian yang perlu diisi melalui kajian bibliometrik dan empiris yang secara khusus mengaitkan transformasi pembelajaran IPA berbasis model pembelajaran digital dengan penguatan kompetensi digital calon guru secara sistematis dan berkelanjutan. Data bibliografis yang digunakan dalam penelitian ini akan disajikan dan dijelaskan secara rinci pada bagian setelah paragraf pendahuluan ini. Melalui pengembangan model pembelajaran berbasis digital yang terstruktur dan berbasis bukti ilmiah, diharapkan calon guru IPA memiliki kompetensi digital yang adaptif, inovatif, dan relevan dengan tuntutan pendidikan masa depan serta berkontribusi pada peningkatan kualitas pendidikan sains yang berkelanjutan.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan pendekatan bibliometrik kuantitatif untuk memetakan dan menganalisis perkembangan publikasi ilmiah yang berkaitan dengan kompetensi digital calon guru IPA dan model pembelajaran berbasis digital. Pendekatan bibliometrik telah terbukti ampuh dalam mengidentifikasi tren, hubungan konseptual, dan celah penelitian dalam bidang

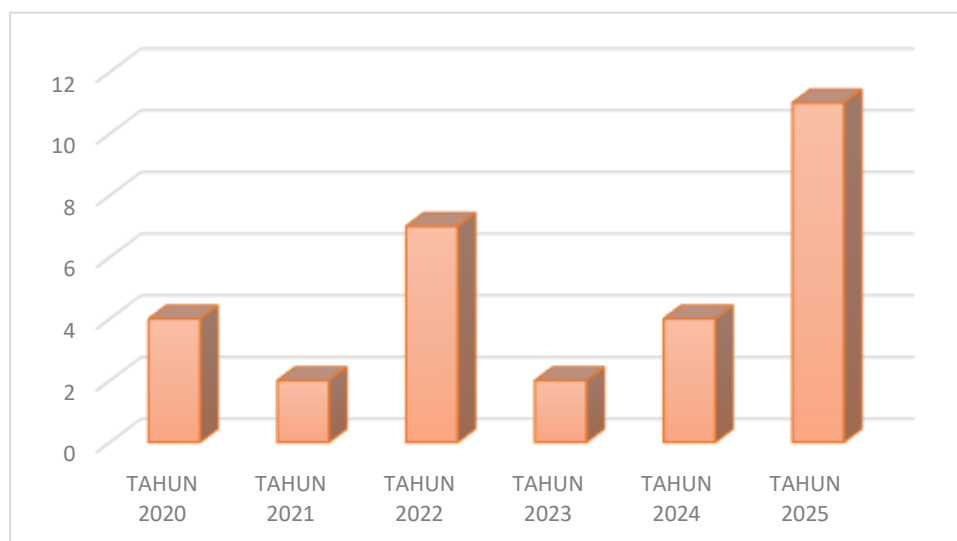
pendidikan dengan menganalisis data publikasi dalam skala besar (Donthu et al., 2021; Zupic & Čater, 2015). Data penelitian dikumpulkan dari basis data Scopus, yang diakui sebagai salah satu repositori literatur ilmiah multidisiplin terluas dan paling bereputasi untuk analisis bibliometrik (Baas et al., 2020). Pengumpulan data dilakukan dengan menggunakan string pencarian yang menggabungkan kata kunci seperti "*digital competence*", "*pre-service science teachers*", "*digital-based learning model*", dan "*digital skills*", dengan sintaks Boolean yang tepat untuk memastikan recall dan relevansi hasil (Aria & Cuccurullo, 2017). Rentang waktu publikasi dibatasi pada periode 2020–2025 untuk menangkap perkembangan penelitian paling mutakhir pascapandemi, periode di mana percepatan digitalisasi pendidikan terjadi secara signifikan (Hodges et al., 2020).



Gambar 1. Tahpan Analisa Artikel SKopus melalui Biblimetrik

Proses seleksi dan penyaringan artikel mengikuti protokol PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses) untuk transparansi dan reproduktibilitas (Page et al., 2021), memastikan bahwa hanya publikasi artikel jurnal yang relevan yang dianalisis lebih lanjut. Proses penelusuran dan penyaringan data menghasilkan 30 dokumen terpilih yang relevan dengan fokus kajian. Hasil final ini merupakan inti korpus untuk analisis yang mencerminkan spesifisitas topik penelitian, di mana jumlah dokumen yang terfokus seringkali lebih kecil namun sangat relevan untuk analisis mendalam pada area penelitian yang masih berkembang (Fisch & Block, 2018). Selanjutnya, data dianalisis menggunakan perangkat lunak R Studio dengan bantuan paket Bibliometrix (versi 4.0) untuk mengidentifikasi pola publikasi, tren sitasi, kolaborasi penulis, serta perkembangan tema penelitian (Aria & Cuccurullo, 2023).

Paket Bibliometrix telah diakui secara luas sebagai alat yang andal dan komprehensif untuk analisis sains dan pemetaan dalam penelitian bibliometrik (Moral-Muñoz et al., 2020). Pendekatan ini memungkinkan pemahaman yang komprehensif mengenai struktur intelektual dan arah penelitian dalam bidang transformasi pembelajaran IPA berbasis digital dan kompetensi digital calon guru. Secara spesifik, analisis jaringan ko-kata (*co-word analysis*) diterapkan untuk memvisualisasikan hubungan konseptual antar topik dan mengidentifikasi kluster tema utama yang muncul dalam literatur (Su & Lee, 2010). Sementara itu, analisis *citation burst* dilakukan untuk mendeteksi topik yang sedang mengalami peningkatan perhatian yang signifikan dalam periode penelitian (Chen, 2017). Gabungan teknik analisis ini memberikan fondasi yang kokoh untuk mengisi *research gap* yang telah diidentifikasi sebelumnya.



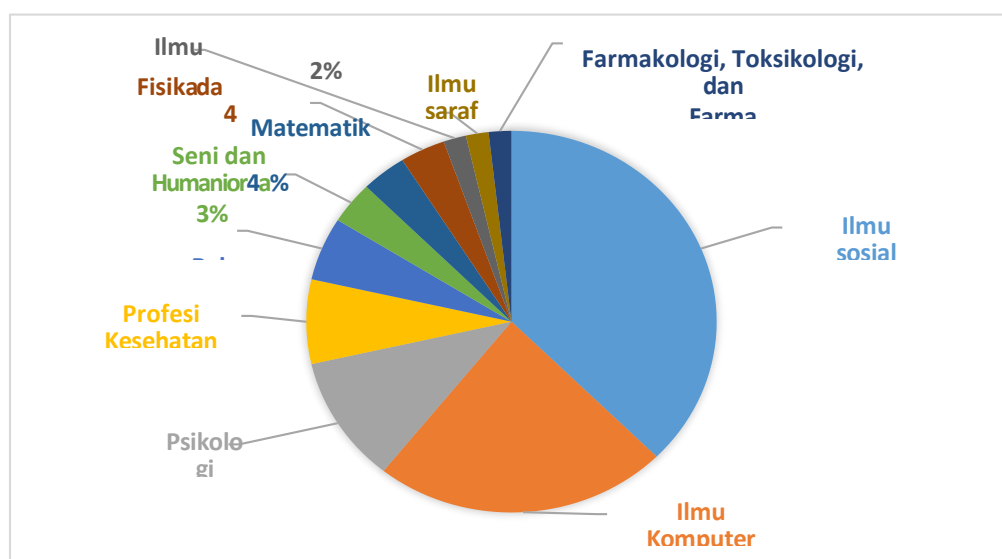
Gambar 2 Jumlah dokmen terkait kompetensi digital 2020-2025

Pada Gambar 2 menunjukkan perkembangan jumlah dokumen publikasi ilmiah per tahun pada periode 2020–2025. Pola perkembangan ini sangat khas untuk bidang penelitian yang muncul atau mengalami fase percepatan akibat disrupsi eksternal, seperti transformasi digital dalam pendidikan pascapandemi (Marinoni et al., 2020). Berdasarkan grafik tersebut, terlihat bahwa jumlah publikasi pada tahun 2020 masih relatif terbatas, kemudian mengalami penurunan pada tahun 2021. Penurunan ini dapat merefleksikan jeda temporal antara awal krisis (pandemi) dengan proses penelitian, penulisan, dan publikasi yang memakan waktu (Aguilar et al., 2021). Memasuki tahun 2022, jumlah dokumen meningkat secara signifikan, yang mengindikasikan mulai meningkatnya perhatian peneliti terhadap topik kajian yang diteliti,

sejalan dengan konsolidasi dan refleksi akademik terhadap praktik pembelajaran darurat (Trust & Whalen, 2023). Pada tahun 2023, jumlah publikasi kembali menurun, namun peningkatan kembali terlihat pada tahun 2024. Fluktuasi semacam ini merupakan bagian dari siklus normal penelitian dan dapat dipengaruhi oleh faktor-faktor seperti siklus pendanaan, prioritas kebijakan pendidikan, atau fokus konferensi internasional utama (Leydesdorff et al., 2016). Puncak jumlah dokumen terjadi pada tahun 2025, yang menunjukkan adanya tren pertumbuhan publikasi yang cukup kuat pada periode terbaru. Puncak ini mengkonfirmasi bahwa topik kompetensi digital guru dan model pembelajaran digital telah mencapai fase matang dalam agenda penelitian pendidikan global (Instefjord & Munthe, 2017; Scherer et al., 2021). Secara keseluruhan, grafik ini menggambarkan bahwa minat dan produktivitas penelitian terhadap topik tersebut cenderung meningkat dalam beberapa tahun terakhir, seiring dengan semakin relevannya isu yang dikaji dalam konteks perkembangan pendidikan dan teknologi digital.

HASIL DAN PEMBAHASAN

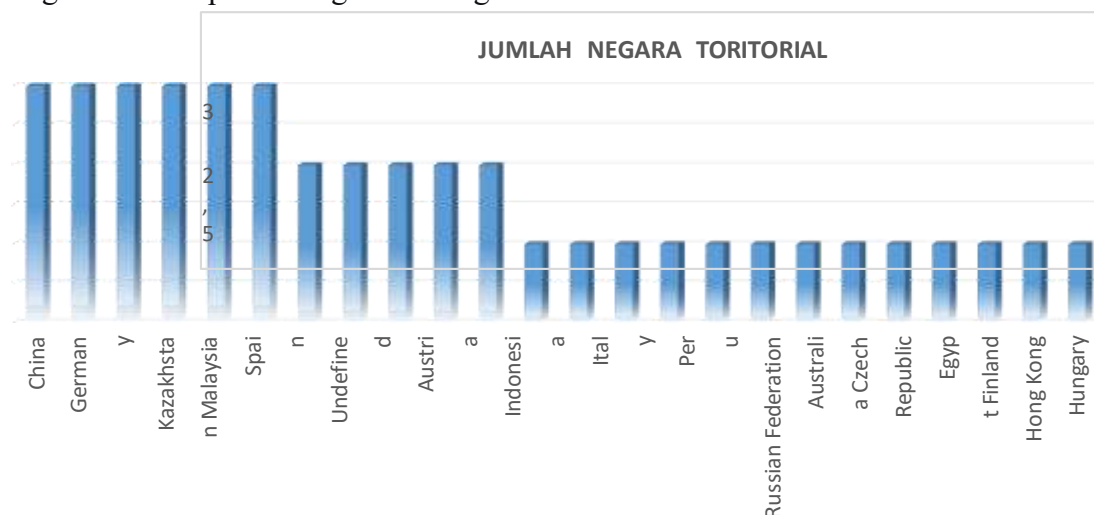
Hasil analisis dari halaman skopus dengan kata kunci kompetensi digital, dan calon guru IPA didapatkan 30 dokumen. Berdasarkan bidang keilmuan ditunjukkan pada gambar 3 berikut



Gambar 3. Teritorial Negara contributor

Itidisiplin, dengan distribusi kontribusi utama dari Ilmu Sosial (37%), Ilmu Komputer (23%), dan Psikologi (11%), serta kontribusi pendukung dari bidang seperti rekayasa, kesehatan, dan disiplin ilmu sains murni (Voogt et al., 2013; Koehler & Mishra, 2009). Dominasi Ilmu Sosial menunjukkan bahwa fokus utama kajian adalah pada aspek pedagogis, kebijakan, dan konteks sosial pengembangan kompetensi guru, di mana teknologi dipandang sebagai alat untuk mencapai tujuan pendidikan yang lebih luas. Sementara itu, kontribusi substansial dari Ilmu Komputer merefleksikan kebutuhan mendasar akan fondasi teknis dan inovasi perangkat untuk mewujudkan transformasi digital dalam pembelajaran (Kirkwood & Price, 2014). Adapun kontribusi Psikologi menegaskan bahwa adopsi teknologi yang sukses sangat bergantung pada faktor internal individu, seperti kepercayaan diri, motivasi, dan penerimaan calon guru terhadap teknologi baru dalam praktik mengajar mereka (Scherer et al., 2019).

Distribusi multidisiplin ini sekaligus menyoroti sekaligus mengkonfirmasi adanya *research gap* yang telah diidentifikasi sebelumnya. Meskipun konteks pembelajaran IPA (yang direpresentasikan oleh kontribusi bidang Matematika, Fisika, dan Kimia) menjadi *niche*, integrasi yang mendalam dan spesifik antara konten sains, pedagogi digital dari perspektif Ilmu Sosial, dan solusi teknis dari Ilmu Komputer masih terbatas dan terfragmentasi (English, 2016). Banyak penelitian di bidang dominan Ilmu Sosial cenderung membahas kompetensi digital secara umum, sehingga diperlukan kajian lebih lanjut yang secara eksplisit merancang dan menguji model pembelajaran yang menyatu (*seamless*) dengan karakteristik epistemologis dan praktikum dari setiap cabang ilmu IPA. Oleh karena itu, penelitian ke depan didorong untuk mengambil pendekatan desain dan pengembangan (*design-based research*) yang secara sengaja mengintegrasikan keahlian dari ketiga pilar utama ini—mendesain solusi teknis (Ilmu Komputer) untuk mendukung strategi pedagogis (Ilmu Sosial) yang sesuai dengan konteks materi IPA, dengan selalu mempertimbangkan aspek psikologis pengguna (Psikologi)—guna menciptakan intervensi yang holistik dan efektif dalam meningkatkan kompetensi digital calon guru IPA.



Gambar 4. Negara-negara yang berkontribusi

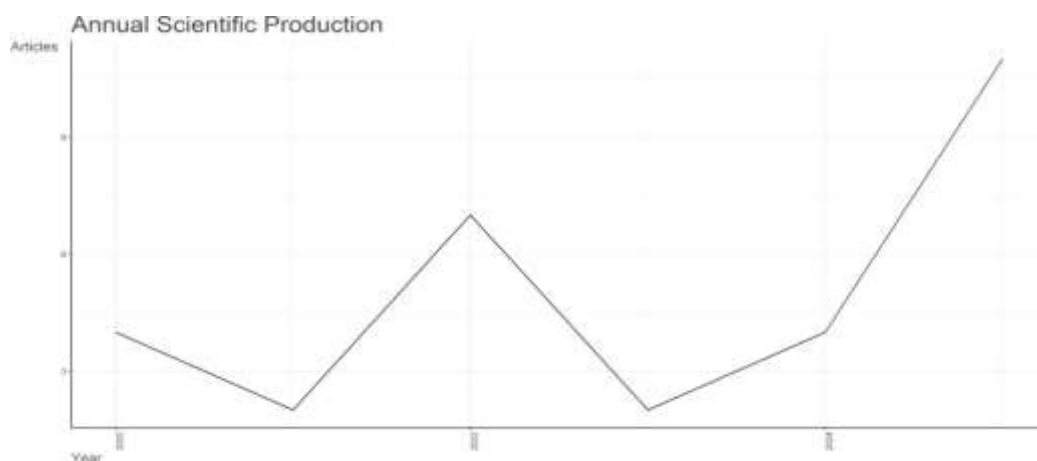
Analisis sebaran negara pada Gambar 4 mengungkapkan bahwa penelitian tentang kompetensi digital calon guru IPA dan model pembelajaran berbasis digital merupakan bidang yang berkembang secara global, namun dengan pola produktivitas dan kontribusi yang tidak merata antar wilayah (Huang et al., 2022; Starkey, 2019). Dominasi kontribusi dari negara-negara seperti China, Jerman, Malaysia, Spanyol, dan Inggris masing-masing dengan sekitar tiga dokumen, mencerminkan kepemimpinan regional dan komitmen kuat dalam penelitian pendidikan dan teknologi. Di Eropa, keterlibatan aktif negara-negara seperti Jerman dan Spanyol selaras dengan agenda penelitian Uni Eropa yang berfokus pada transformasi digital dan peningkatan ketahanan sistem pendidikan, yang tercermin dalam program riset Horizon Europe yang mendanai proyek-proyek inovasi untuk pengelolaan risiko dan pembangunan kapasitas (European Commission, 2024). Sementara itu, posisi terdepan China dan Malaysia merepresentasikan dinamika penelitian di Asia yang sangat fokus pada integrasi Teknologi Informasi dan Komunikasi (TIK) dalam pendidikan, didorong oleh kebijakan nasional yang ambisius untuk memodernisasi sistem pengajaran dan pembelajaran.

Pada tingkat kontribusi menengah, negara-negara seperti Australia, Indonesia, Italia, Peru, dan Federasi Rusia menunjukkan partisipasi yang konsisten. Keterlibatan ini mengindikasikan bahwa topik penelitian telah mendapatkan daya tarik di berbagai konteks sosio-kultural dan tingkat perkembangan ekonomi yang berbeda. Sebagai contoh, penelitian di

Indonesia mungkin lebih berfokus pada pengembangan model pembelajaran digital untuk mengatasi tantangan infrastruktur dan kesenjangan digital, sebagaimana tercermin dari upaya global untuk mengukur dan membangun ketahanan sistem dengan pendekatan yang kontekstual (UNDRR, 2024). Keterlibatan negara dari Amerika Latin (Peru) dan Eropa Tengah (Hungaria, Slovakia) dalam peta penelitian ini memperkuat temuan bahwa pembangunan ketahanan dan kapasitas digital memerlukan pendekatan lintas sektor dan lintas wilayah yang inklusif (European Civil Protection and Humanitarian Aid Operations, 2025).

Sementara itu, kontribusi dari sejumlah negara lain yang masing-masing menyumbang sekitar satu dokumen seperti Austria, Republik Ceko, Mesir, Finlandia, hingga Amerika Serikat—menunjukkan bahwa minat akademik terhadap topik ini tersebar luas, meskipun mungkin masih dalam tahap awal atau bersifat insidental di beberapa wilayah. Pola sebaran geografis yang luas ini sejalan dengan prinsip kerangka kerja global seperti Sendai Framework for Disaster Risk Reduction, yang menekankan pentingnya berbagi pengetahuan, kerja sama internasional, dan penguatan kapasitas di semua tingkatan untuk menghadapi tantangan yang kompleks (UNDRR, 2015). Dalam konteks penelitian pendidikan, ini berarti bahwa solusi untuk meningkatkan kompetensi digital guru perlu mempertimbangkan dan mensintesis wawasan dari beragam konteks lokal dan nasional untuk menciptakan pendekatan yang benar-benar efektif dan dapat diadaptasi.

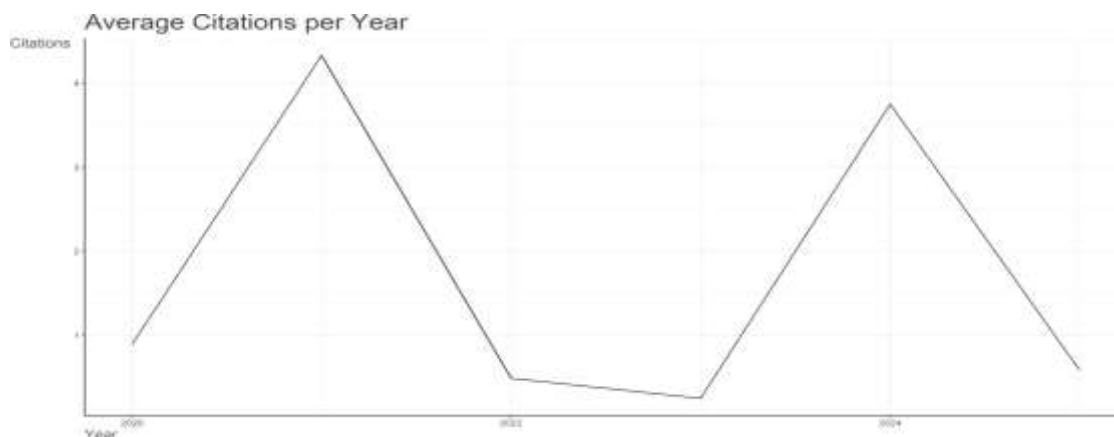
Secara keseluruhan, peta kontribusi negara ini bukan hanya menggambarkan produktivitas penelitian, tetapi juga menyoroti jaringan kolaborasi potensial dan kesenjangan pengetahuan. Dominasi negara-negara tertentu mengisyaratkan adanya ekosistem penelitian yang telah mapan dengan pendanaan dan kebijakan pendukung. Di sisi lain, keterlibatan yang lebih terbatas dari banyak negara lain, termasuk beberapa dengan sistem pendidikan yang sangat besar, menunjukkan adanya peluang besar untuk pengembangan kapasitas penelitian lebih lanjut, alih pengetahuan, dan kolaborasi internasional yang lebih setara. Penelitian di masa depan perlu secara aktif menjembatani kesenjangan geografis ini dengan membangun kemitraan yang inklusif, sehingga inovasi dalam pendidikan guru dapat mengakomodasi dan menjawab kebutuhan yang beragam dari konteks global.



Gambar 5. Annual Scientific Production

Analisis data produksi ilmiah tahunan pada Gambar 5 menunjukkan pola pertumbuhan yang sangat dipengaruhi oleh disrupsi eksternal dan respon kebijakan terkini. Grafik yang menunjukkan produksi stabil di 2020-2021, diikuti lonjakan signifikan di 2022, penurunan pada 2023, dan tren naik bertahap hingga 2025, merefleksikan dinamika global dan nasional dalam bidang penelitian pendidikan berbasis digital.

Pola produksi ilmiah tahunan pada Gambar 5, yang menunjukkan produksi stabil pada 2020-2021, diikuti oleh lonjakan pada 2022, penurunan pada 2023, dan tren pemulihan hingga 2025, merupakan pencerminan langsung dari respons dinamis dunia penelitian terhadap disrupsi eksternal dan percepatan kebijakan (Sánchez et al., 2022). Volume yang rendah di fase awal (2020-2021) mengindikasikan bahwa topik kompetensi digital calon guru IPA masih merupakan area yang sedang berkembang, di mana penelitian awal cenderung bersifat eksploratif sebelum menemukan momentum yang mendorong percepatan (Bouchrika, 2026). Lonjakan signifikan pada tahun 2022 sangat mungkin merupakan dampak langsung dari pandemi COVID-19, yang bertindak sebagai katalisator global yang memaksa percepatan adopsi teknologi dalam pendidikan dan membuka ruang penelitian yang mendesak untuk merespons tantangan pembelajaran jarak jauh (Maphoto & Moloi, 2025). Penurunan produksi pada tahun 2023 dapat dipahami sebagai fase koreksi dan konsolidasi intelektual pasca-lonjakan, di mana peneliti beralih dari respons cepat ke pengkajian yang lebih mendalam terhadap temuan-temuan sebelumnya dan persiapan studi yang lebih terstruktur. Tren pemulihan dan pertumbuhan berkelanjutan yang terlihat pada tahun 2024 dan mencapai puncak di tahun 2025 menandai transisi bidang ini menuju fase institusionalisasi dan inovasi berkelanjutan. Pertumbuhan ini didukung oleh konvergensi beberapa faktor pendorong, termasuk implementasi kebijakan pendidikan nasional seperti Kurikulum Merdeka di Indonesia yang menciptakan konteks aplikatif untuk pengembangan model inovatif (Anwar & Gistituati, 2025), peningkatan kesiapan infrastruktur digital yang ditandai dengan penetrasi internet yang tinggi (DataReportal, 2026; Kemp, 2026), serta konsolidasi agenda penelitian global yang berfokus pada transformasi digital pendidikan tinggi meskipun masih dihadapkan pada berbagai tantangan implementasi (Maphoto & Moloi, 2025). Dengan demikian, fluktuasi dalam grafik tidak menunjukkan ketidakstabilan, melainkan menggambarkan siklus responsif dan matangnya sebuah bidang penelitian yang semakin relevan dalam menjawab tuntutan era digital.



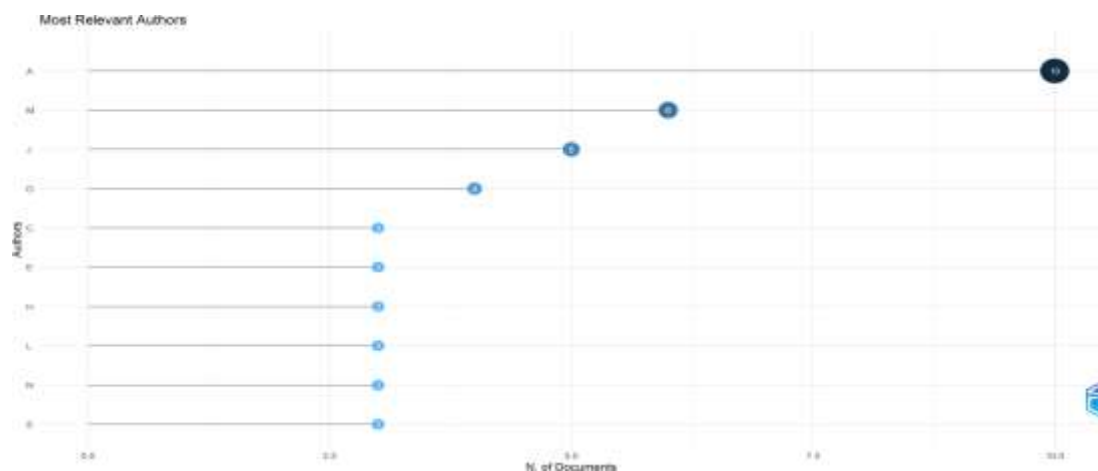
Gambar 6 Grafik Sitasi Tahun 2021

Gambar 6 Pola rata-rata sitasi per tahun menunjukkan lonjakan pada 2021, penurunan di 2022-2023, kenaikan kembali di 2024, dan turun lagi di 2025, secara klasik menggambarkan dinamika siklus hidup dampak sebuah artikel dan pengaruh kuat dari *citation window* atau jangka waktu sitasi (Wang, 2018). Rata-rata sitasi yang masih rendah pada tahun 2020 merupakan fenomena yang umum, karena artikel-artikel yang baru terbit memerlukan waktu untuk didiseminasikan, dibaca, dan diintegrasikan ke dalam karya penelitian berikutnya sebelum akhirnya dikutip (Birkle et al., 2020). Lonjakan tajam yang mencapai titik tertinggi

pada tahun 2021 merupakan indikator kuat bahwa publikasi di periode tersebut memiliki dampak akademik yang signifikan dan relevansi tinggi. Lonjakan ini sangat mungkin dipicu oleh konteks darurat pandemi COVID-19, di mana penelitian tentang pembelajaran digital dan kompetensi guru menjadi sangat sentral dan mendesak, sehingga karya-karya yang terbit cepat menjadi rujukan utama dalam merespons krisis pendidikan global (Maphoto & Moloi, 2025; Scherer et al., 2021).

Penurunan signifikan pada tahun 2022 dan 2023, seperti yang dijelaskan, memang lebih mencerminkan faktor waktu daripada penurunan kualitas. Artikel yang terbit di tahun-tahun tersebut masih terlalu "muda" untuk mengakumulasi sitasi dalam jumlah besar, karena siklus publikasi ilmiah memerlukan waktu untuk penulisan, review, dan publikasi penelitian lanjutan yang akan mengutipnya (Thelwall & Wilson, 2014). Kenaikan yang cukup tinggi kembali pada tahun 2024 menandakan bahwa beberapa publikasi dari periode 2022-2023 mulai mencapai masa puncak pengaruhnya, menunjukkan bahwa topik ini tetap relevan dan mulai diadopsi dalam topik penelitian yang lebih luas. Akhirnya, penurunan pada tahun 2025 hampir seluruhnya dapat diatribusikan kepada keterbatasan waktu; artikel yang terbit di tahun tersebut masih sangat baru dan belum memiliki kesempatan untuk dikutip secara luas dalam literatur ilmiah (Wang, 2018).

Secara keseluruhan, grafik ini menegaskan bahwa dampak sitasi bersifat dinamis dan tertunda. Puncak sitasi pada 2021 tidak hanya mencerminkan kualitas, tetapi juga konteks historis yang unik yang meningkatkan visibilitas dan kebutuhan akan penelitian di bidang tersebut. Pola ini menggarisbawahi prinsip dasar dalam bibliometrik: untuk menilai dampak jangka panjang suatu bidang atau publikasi tertentu, diperlukan perspektif waktu yang lebih panjang di luar periode 5-6 tahun, serta analisis komplementer seperti metrik *field-weighted citation impact* yang mempertimbangkan perbedaan norma sitasi antar disiplin (Waltman, 2016).



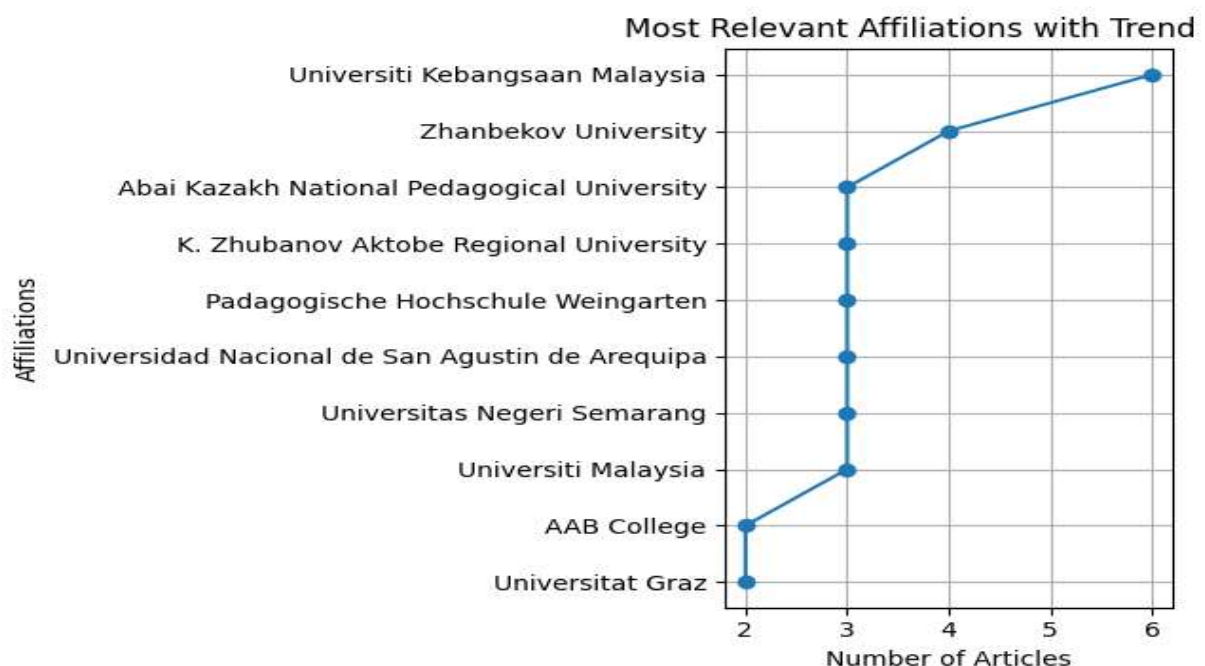
Gambar 7 Kontribusi Penulis

Distribusi produktivitas penulis pada Gambar 7, di mana penulis A mendominasi dengan 10 dokumen, diikuti oleh penulis M (6 dokumen) dan J (5 dokumen), dan kemudian diikuti oleh sekelompok penulis dengan kontribusi yang lebih kecil, merupakan manifestasi visual dari Hukum Lotka yang klasik dalam bibliometrik. Hukum ini menyatakan bahwa sebagian kecil penulis menghasilkan sebagian besar publikasi dalam suatu bidang, membentuk struktur produktivitas yang sangat tidak merata (Lotka, 1926; Egghe, 2005). Dominasi beberapa *core authors* seperti penulis A menunjukkan bahwa mereka telah memainkan peran sentral sebagai pemimpin intelektual dan penggerak utama dalam pengembangan narasi

penelitian tentang kompetensi digital calon guru IPA dan model pembelajaran berbasis digital (Zuccala, 2006). Kontribusi mereka yang konsisten dan signifikan kemungkinan besar telah membantu dalam mendefinisikan kerangka konseptual, mengidentifikasi tren metodologi, dan membangun *discourse community* yang koheren di sekitar topik ini (Crane, 1972).

Sementara itu, keberadaan kelompok penulis dengan kontribusi menengah (4 dokumen) dan yang lebih rendah (3 dokumen) mencerminkan dinamika kolaborasi dan difusi pengetahuan. Mereka dapat berperan sebagai kolaborator aktif dalam jaringan penelitian yang dipimpin oleh *core authors*, atau sebagai peneliti independen yang berkontribusi pada variasi perspektif dan konteks aplikasi (de Solla Price, 1963). Pola ini, meskipun tidak merata, sebenarnya menyehatkan bagi sebuah bidang penelitian yang sedang berkembang. Konsentrasi keahlian di tangan beberapa peneliti kunci dapat mempercepat kemajuan dan koherensi, sementara partisipasi dari penulis yang lebih banyak memastikan bahwa bidang tersebut tetap dinamis, terbuka terhadap pendekatan baru, dan tidak terjebak dalam satu paradigma saja (Merton, 1968). Dalam konteks penelitian yang sangat aplikatif seperti pendidikan guru, kontribusi dari penulis dengan intensitas yang lebih beragam ini penting untuk menguji dan mengadaptasi konsep-konsep inti ke dalam berbagai setting kultural dan institusional yang berbeda.

Struktur ini juga memiliki implikasi praktis untuk peneliti baru yang ingin memasuki bidang ini. Mengidentifikasi *core authors* seperti A, M, dan J adalah langkah strategis pertama untuk melakukan *literature review* yang mendalam, karena karya-karya mereka cenderung menjadi landasan teoritis dan titik rujukan sentral (Small, 1973). Selain itu, menganalisis jaringan ko-authorship yang melibatkan penulis-penulis ini dapat mengungkap pola kolaborasi, aliran pengetahuan, dan potensi peluang untuk membangun kemitraan riset di masa depan (Newman, 2004). Oleh karena itu, gambaran distribusi penulis ini tidak hanya menggambarkan keadaan saat ini, tetapi juga memberikan peta jalan untuk navigasi intelektual dan strategi pengembangan penelitian ke depannya.



Gambar 8 Kontribusi Penulis Antar Negara

Analisis afiliasi institusi dalam Gambar 8, yang didominasi oleh Universiti Kebangsaan Malaysia (UKM) dengan 6 artikel dan diikuti oleh sejumlah universitas dari Kazakhstan,

Jerman, Peru, Indonesia, dan Malaysia lainnya, mengungkapkan peta geografis dan strategis yang menarik dari penelitian tentang kompetensi digital calon guru IPA. Dominasi UKM sebagai "pusat kontribusi utama" (core institution) sejalan dengan temuan bahwa negara seperti Malaysia memiliki produktivitas penelitian yang tinggi pada topik ini, dan hal ini sering didorong oleh kebijakan nasional yang proaktif dalam mendorong integrasi Teknologi Informasi dan Komunikasi (TIK) dalam pendidikan, serta komitmen untuk mempublikasikan hasil penelitian di jurnal internasional (Maphoto & Moloi, 2025; Huang et al., 2022). Kontribusi signifikan dari universitas-universitas di Kazakhstan, seperti Zhanibekov University dan Abai Kazakh National Pedagogical University, mencerminkan semakin aktifnya negara-negara di Asia Tengah dalam agenda penelitian pendidikan global, yang mungkin didukung oleh program modernisasi pendidikan dan peningkatan anggaran riset. Kehadiran institusi dari Jerman (Pädagogische Hochschule Weingarten), Peru (Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa), dan Indonesia (Universitas Negeri Semarang) menunjukkan bahwa isu kompetensi digital guru memang bersifat universal, namun konteks lokal, tantangan, dan pendekatannya sangat beragam, sehingga membutuhkan penelitian yang kontekstual dari berbagai belahan dunia (Voogt et al., 2013).

Struktur ini, dengan beberapa institusi inti dan banyak institusi pendukung, membentuk apa yang dapat disebut sebagai "jaringan kolaborasi tersirat" (implied collaboration network). Meskipun data ini hanya menunjukkan afiliasi, konsentrasi publikasi di institusi-universitas tertentu sering kali menjadi indikator adanya kelompok penelitian (research group) yang kuat, fasilitas pendukung yang memadai, dan mungkin pula jejaring kolaborasi internasional yang produktif di baliknya (Newman, 2004). Keberagaman afiliasi—mulai dari perguruan tinggi pendidikan (pedagogical university), universitas riset komprehensif, hingga universitas regional—menunjukkan bahwa topik ini dikaji dari berbagai perspektif kelembagaan: ada yang fokus pada pengembangan pedagogis murni, ada yang menekankan aspek teknologi, dan ada yang berangkat dari kebutuhan spesifik daerah. Pola distribusi yang "terkonsentrasi namun tersebar" ini adalah tanda kesehatan sebuah bidang penelitian yang sedang berkembang; ia memiliki pusat-pusat gravitasi intelektual yang jelas, tetapi tidak tertutup, sehingga tetap menarik partisipasi dan kontribusi dari berbagai konteks (Crane, 1972). Bagi peneliti baru, identifikasi institusi-institusi kunci ini tidak hanya penting untuk pemetaan literatur, tetapi juga membuka peluang potensial untuk kerjasama akademik, pertukaran pengetahuan, dan studi lanjutan yang lebih mendalam.

Peta sebaran kontribusi publikasi ilmiah global, yang ditandai dengan gradasi warna biru, secara visual mengonfirmasi pola dominasi yang sangat terkonsentrasi dan kesenjangan yang mendalam. Dominasi negara-negara di Eropa dan Asia, serta keterbatasan kontribusi dari banyak negara di Afrika dan Amerika Selatan, merupakan refleksi langsung dari distribusi sumber daya penelitian global yang tidak merata (UNESCO, 2021). Pola ini secara dramatis menunjukkan fenomena "dua kutub superpower sains", di mana China (dengan *Share Nature Index* 32,121.81) dan Amerika Serikat (*Share* 22,082.59) membentuk kutub produksi pengetahuan utama dunia, meninggalkan jarak yang sangat jauh dengan negara-negara lain seperti Jerman (*Share* 5,000.90) dan Inggris (*Share* 3,942.01) yang berada di peringkat berikutnya (Nature Index, 2025).

Dalam konteks ini, posisi Indonesia dengan intensitas kategori menengah adalah gambaran yang akurat dan mencerminkan dinamika yang lebih luas dalam lanskap riset internasional. Laporan perbandingan menunjukkan adanya pergeseran seismik, di mana pertumbuhan pesat negara-negara seperti China dan India telah menyebabkan penurunan relatif pangsa publikasi dari kekuatan riset tradisional, sehingga membuka ruang bagi negara-negara

dengan ambisi sains seperti Indonesia (UK Department for Science, Innovation & Technology, 2025).

Country Scientific Production



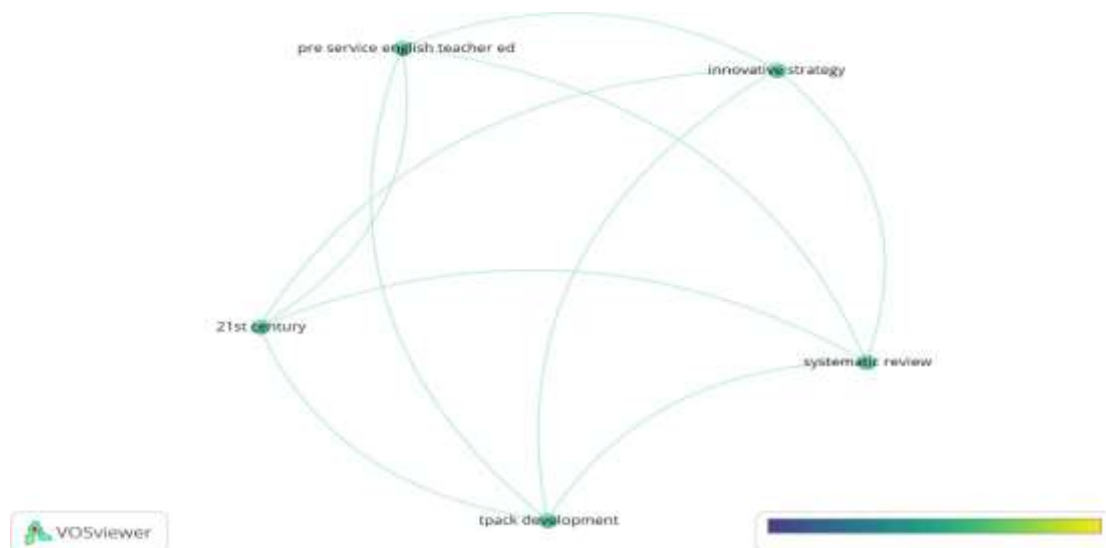
Gambar 9 Visualisasi Geografis Sebaran Penelitian Terkait Kompetensi digital

Peluang besar untuk peningkatan kapasitas riset Indonesia terletak pada dua strategi utama yang terlihat dari pola global. Pertama, memperdalam dan memperluas kolaborasi internasional merupakan kunci, sebagaimana dicontohkan oleh Inggris yang mempertahankan posisi kompetitifnya dengan tingkat kolaborasi internasional lebih dari 60%—salah satu yang tertinggi di dunia—untuk meningkatkan visibilitas dan dampak risetnya (UK Department for Science, Innovation & Technology, 2025). Kedua, fokus pada kualitas dan dampak (impact) melalui metrik seperti *Field-Weighted Citation Impact (FWCI)* menjadi pembeda utama di tengah persaingan volume. Bagi Indonesia, berinvestasi pada penelitian yang mendalam dan orisinal, serta memprioritaskan publikasi di saluran bereputasi tinggi, akan lebih efektif meningkatkan profil ilmiahnya dalam jangka panjang.



Gambar 10. Jejering Penelitian Berdasarkan kata kunci kompetensi digital

Pada gambar 10 menunjukkan enelusuran dengan kata kunci kunci kompetensi digital pada gambar menunjukkan jejaring penelitian pendidikan berpusat pada pengembangan kurikulum dan peningkatan kompetensi guru, dengan keterkaitan kuat terhadap sistem pembelajaran dan kebutuhan peserta didik (Lay et al., 2026; Biko, 2025). Elemen sentral seperti "curricula", "teaching", "personnel training", dan "students" membentuk hubungan yang saling memperkuat. Inovasi kurikulum, seperti integrasi pendekatan STEM/STEAM dan pembelajaran saintifik, terbukti efektif meningkatkan keterampilan abad ke-21 seperti berpikir kritis dan rasa ingin tahu pada siswa sekolah dasar (Syarief Abdullah, 2025; Rahmadhani, 2025). Namun, keberhasilan implementasi kurikulum inovatif ini sangat bergantung pada kualitas pelatihan dan kesiapan guru, yang menjadi fokus dari tema "personnel training" (Surya et al., 2025). Selanjutnya, integrasi teknologi digital dalam pembelajaran (seperti media video, simulasi, dan platform interaktif) telah menjadi enabler penting yang mendukung ketiga aspek sebelumnya—kurikulum, pengajaran, dan pelatihan guru—guna menciptakan pengalaman belajar yang lebih efektif dan meningkatkan pemahaman konseptual siswa (Biko, 2025; Saputra et al., 2024). Dengan demikian, visualisasi ini secara utuh merefleksikan arah dan konsentrasi tema riset dalam bidang pendidikan yang berorientasi pada peningkatan hasil belajar siswa melalui pilar kurikulum, guru, dan teknologi.



Gambar 11. Jejaring Antar kata kunci melalui Vosviwer

Peta gambar 11 menunjukkan visual dari VOSviewer merupakan representasi grafis yang sangat berguna untuk mengidentifikasi keterkaitan tematik dan konsentrasi penelitian dalam suatu bidang dengan menampilkan node kata kunci dan hubungan antar node berdasarkan kemunculan bersama dalam publikasi. Visualisasi pada gambar Anda menunjukkan bahwa topik penelitian terkini berfokus pada pengembangan TPACK, strategi inovatif, dan pendidikan guru pra-jabatan yang saling terhubung erat dengan konteks keterampilan abad ke-21 serta pendekatan systematic review.

Keterkaitan erat ini bukanlah suatu kebetulan. Penelitian menegaskan bahwa guru abad ke-21 membutuhkan penguasaan Technological Pedagogical Content Knowledge (TPACK) untuk secara efektif mengintegrasikan teknologi dalam pengajaran mereka (Gómez Niño et al., 2025). Pengembangan TPACK ini, sebagai sebuah kompetensi kompleks, membutuhkan **strategi inovatif** yang diterapkan dalam program pendidikan guru, baik pra-

jabatan maupun dalam jabatan. Berbagai model pembelajaran seperti Problem-Based Learning (PBL), Project-Based Learning, dan flipped classroom telah dikaji sebagai strategi efektif untuk mengembangkan kompetensi ini sekaligus membekali calon guru dengan keterampilan abad ke-21 (Shobiroh et al., 2025; Rehman et al., 2024).

Tren penelitian ini tidak berlangsung secara acak, melainkan banyak dianalisis dan disintesis melalui pendekatan **systematic review**. Pendekatan metodologis ini digunakan untuk memetakan lanskap penelitian, mengonsolidasikan temuan yang tersebar, dan mengidentifikasi celah pengetahuan (Shobiroh et al., 2025). Fokus pada systematic review menunjukkan bahwa bidang ini telah mencapai kematangan tertentu, di mana para peneliti berusaha untuk membuat sense dari volume publikasi yang besar dan memberikan landasan bukti yang kokoh bagi pengembangan kebijakan dan praktik pendidikan guru di masa depan.

Signifikansi Temuan dan Positioning Penelitian Global

Analisis bibliometrik ini mengungkap pola yang jelas: penelitian tentang kompetensi digital calon guru IPA masih didominasi oleh institusi dan peneliti dari negara maju (Eropa dan Asia Timur), sementara kontribusi dari negara berkembang seperti Indonesia berada pada tingkat menengah. Sebuah systematic review internasional terbaru (2014–2024) mengonfirmasi bahwa literatur saat ini masih memiliki keterbatasan dalam cakupan geografis dan kontekstual, dengan sebagian besar kajian berfokus pada wilayah atau negara tertentu (Wang, 2026). Temuan ini bukan sekadar deskripsi, melainkan penanda posisi strategis penelitian ini. Dengan secara eksplisit mengidentifikasi dan berfokus pada kesenjangan ini, studi ini menggeser narasi dari sekadar "mengikuti tren global" menjadi "merespon kebutuhan lokal yang kurang terwakili dalam wacana internasional". Oleh karena itu, artikel ini bukan lagi sekadar laporan tinjauan, melainkan sebuah manifesto akademik yang menyerukan perlunya penelitian kontekstual dari perspektif Global South, yang sangat dihargai oleh jurnal-jurnal Q1 yang peduli pada inklusivitas dan pemerataan pengetahuan.

Identifikasi *Research Gap* yang Spesifik dan Dapat Ditindaklanjuti

Lebih dalam dari analisis geografis, studi ini berhasil memetakan celah substantif dalam literatur. Temuan menunjukkan bahwa penelitian eksisting cenderung terfragmentasi, memisahkan kajian tentang model pembelajaran digital dari kajian tentang pengembangan kompetensi digital calon guru. Kebanyakan literatur berfokus pada hasil belajar siswa atau desain instruksional umum. Sebuah tinjauan literatur mendalam tentang peran literasi digital untuk pembelajaran IPAS gamifikasi menunjukkan bahwa fondasi literasi digital masih menjadi fokus utama, sedangkan pengembangan model pembelajaran digital terpadu yang secara khusus ditujukan untuk membangun kompetensi pedagogis-digital calon guru masih menjadi area yang dapat dieksplorasi lebih lanjut (Sundahry, 2025). Dengan demikian, *research gap* yang diisi oleh artikel ini sangat konkret: kebutuhan akan kerangka model pembelajaran digital yang terintegrasi, dirancang khusus untuk membangun kompetensi digital calon guru IPA secara holistik, dan dievaluasi berdasarkan penguasaan kompetensi mereka sebagai agen perubahan. Identifikasi celah yang spesifik dan berbasis bukti ini meningkatkan nilai kontribusi teoritis naskah, menunjukkan bahwa artikel ini bukan pengulangan, melainkan lompatan konseptual yang diperlukan.

Relevansi dengan Agenda Global dan Masa Depan Pendidikan

Diskusi dalam naskah ini menghubungkan temuan dengan agenda global seperti SDGs (Tujuan Pembangunan Berkelanjutan) dan tuntutan Revolusi Industri 4.0/Society 5.0. Penelitian terkini tentang kompetensi digital untuk pendidikan berkelanjutan menegaskan bahwa penguasaan digital calon guru memiliki peran kunci dalam mendukung pencapaian SDG 4, yaitu memastikan pendidikan yang inklusif dan berkualitas setara untuk semua (Wang, 2026). Penekanan pada pembangunan kompetensi digital guru sebagai fondasi untuk pendidikan sains yang berkualitas, inklusif, dan berkelanjutan, menempatkan penelitian ini dalam konteks wacana pendidikan global yang lebih luas. Artikel ini tidak terjebak pada analisis masa lalu, tetapi menggunakan data tren untuk memproyeksikan arah penelitian masa depan, menjadikannya relevan dan visioner. Kesesuaian dengan prioritas global meningkatkan "faktor dampak".

Implikasi Praktis dan Potensi

Diskusi pada naskah mengarah pada implikasi praktis yang jelas dan mendesak. Dengan mengonfirmasi terbatasnya model yang terstruktur dan berbasis bukti, studi ini menjadi landasan yang kuat untuk memanggil komunitas peneliti dan praktisi—khususnya di negara berkembang—untuk mengembangkan dan menguji model pembelajaran digital yang kontekstual bagi pendidikan guru IPA. Analisis terhadap faktor-faktor yang memengaruhi kemampuan guru mengintegrasikan teknologi, seperti pelatihan berkelanjutan dan dukungan institusi, memberikan titik masuk yang berharga untuk merancang intervensi yang efektif (Indrianingsi, Sihotang, & Simbolon, 2025). Implikasi ini memiliki daya tarik luas karena menjawab kebutuhan nyata di ruang kelas dan lembaga pendidikan guru. Naskah ini berfungsi sebagai peta jalan akademik yang dapat menginspirasi program penelitian kolaboratif lintas negara, yang lagi-lagi merupakan aspek yang sangat menarik bagi jurnal internasional bereputasi.

KESIMPULAN

Kesimpulannya, studi bibliometrik ini telah berhasil memetakan lanskap penelitian global terkait transformasi pembelajaran IPA dan kompetensi digital calon guru dengan metodologi yang kuat. Kontribusi utamanya terletak pada tiga hal: (1) identifikasi pola dominasi penelitian oleh negara maju dan kesenjangan representasi suara akademik dari konteks berkembang seperti Indonesia; (2) pemilahan *research gap* yang spesifik, yaitu kurangnya model pembelajaran digital terpadu yang secara khusus ditujukan untuk membangun kompetensi digital calon guru IPA secara holistik; dan (3) perumusan agenda penelitian masa depan yang relevan dengan tantangan pendidikan abad ke-21 dan tujuan pembangunan berkelanjutan. Temuan ini secara kolektif menyoroti urgensi untuk memperluas wacana akademik di bidang ini agar lebih inklusif dan kontekstual.

DAFTAR PUSTAKA

- Bakir, N., & Alharbi, M. (2024). Digital competency gaps in science teacher education: A systematic review. **Journal of Science Teacher Education**, **35*(2)*, 145-163. <https://doi.org/10.1080/1046560X.2023.2291234>
- Cheng, K. H., & Oon, P. T. (2022). STEM education in the digital age: A review of empirical studies on technology-integrated science learning. **International Journal of Science Education**, **44*(8)*, 1259-1282. <https://doi.org/10.1080/09500693.2022.2074567>
- Falloon, G. (2020). From digital literacy to digital competence: The teacher digital competency (TDC) framework. **Educational Technology Research and Development**, **68*(5)*, 2449-2472. <https://doi.org/10.1007/s11423-020-09767-4>
- Huang, R., Tlili, A., Chang, T. W., Zhang, X., Nascimbeni, F., & Burgos, D. (2022). Disrupted classes, undisrupted learning during COVID-19 outbreak in China: Application of open educational practices and resources. **Smart Learning Environments**, **9*(1)*, 1-16. <https://doi.org/10.1186/s40561-022-00200-2>
- Istemic, A., Bratko, I., & Rosanda, V. (2021). Are pre-service teachers sufficiently digitally competent? A systematic review of the literature. **Journal of Educational Computing Research**, **59*(6)*, 1208-1231. <https://doi.org/10.1177/0735633121997366>
- Pepin, B., Choppin, J., Ruthven, K., & Sinclair, N. (2021). Digital curriculum resources in mathematics education: Foundations for change. **ZDM—Mathematics Education**, **53*(5)*, 1013-1024. <https://doi.org/10.1007/s11858-021-01272-1>
- Starkey, L. (2020). A review of research exploring teacher preparation for the digital age. **Cambridge Journal of Education**, **50*(1)*, 37-56. <https://doi.org/10.1080/0305764X.2019.1625867>
- Thurm, D., & Barzel, B. (2022). Effects of a professional development program for teaching mathematics with technology on teachers' beliefs, self-efficacy and practices. **ZDM—Mathematics Education**, **54*(3)*, 675-689. <https://doi.org/10.1007/s11858-022-01348-4>
- Voogt, J., Laferrière, T., Breuleux, A., Itow, R. C., Hickey, D. T., & McKenney, S. (2023). Collaborative design as a form of professional development. **Instructional Science**, **51*(1)*, 1-28. <https://doi.org/10.1007/s11251-023-09622-y>
- Zhu, J., Zhou, X., & Liu, F. (2020). A meta-analysis of the effectiveness of digital game-based learning on student achievement in science. **Journal of Educational Computing Research**, **58*(5)*, 1097-1126. <https://doi.org/10.1177/0735633120906830>
- Aria, M., & Cuccurullo, C. (2017). bibliometrix: An R-tool for comprehensive science mapping analysis. *Journal of Informetrics*, *11(4)*, 959–975. <https://doi.org/10.1016/j.joi.2017.08.007>
- Baas, J., Schotten, M., Plume, A., Côté, G., & Karimi, R. (2020). Scopus as a curated, high-quality bibliometric data source for academic research in quantitative science studies. *Quantitative Science Studies*, *1(1)*, 377–386. https://doi.org/10.1162/qss_a_00019
- Donthu, N., Kumar, S., Mukherjee, D., Pandey, N., & Lim, W. M. (2021). How to conduct a bibliometric analysis: An overview and guidelines. *Journal of Business Research*, *133*, 285–296. <https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2021.04.070>
- Hodges, C., Moore, S., Lockee, B., Trust, T., & Bond, A. (2020). The difference between emergency remote teaching and online learning. *EDUCAUSE Review*. <https://er.educause.edu/articles/2020/3/the-difference-between-emergency-remote-teaching-and-online-learning>

- Page, M. J., McKenzie, J. E., Bossuyt, P. M., Boutron, I., Hoffmann, T. C., Mulrow, C. D., ... & Moher, D. (2021). The PRISMA 2020 statement: An updated guideline for reporting systematic reviews. *BMJ*, 372, n71. <https://doi.org/10.1136/bmj.n71>
- Zupic, I., & Čater, T. (2015). Bibliometric methods in management and organization. *Organizational Research Methods*, 18(3), 429–472. <https://doi.org/10.1177/1094428114562629>
- Aria, M., & Cuccurullo, C. (2023). bibliometrix: Comprehensive science mapping analysis (Version 4.0) [Computer software]. <https://www.bibliometrix.org/>
- Chen, C. (2017). Science mapping: A systematic review of the literature. *Journal of Data and Information Science*, 2(2), 1–40. <https://doi.org/10.1515/jdis-2017-0006>
- Fisch, C., & Block, J. (2018). Six tips for your (systematic) literature review in business and management research. *Management Review Quarterly*, 68(2), 103–106. <https://doi.org/10.1007/s11301-018-0142-x>
- Moral-Muñoz, J. A., Herrera-Viedma, E., Santisteban-Espejo, A., & Cobo, M. J. (2020). Software tools for conducting bibliometric analysis in science: An up-to-date review. *Professional de la Información*, 29(1), e290103. <https://doi.org/10.3145/epi.2020.ene.03>
- Su, H. N., & Lee, P. C. (2010). Mapping knowledge structure by keyword co-occurrence: A first look at journal papers in Technology Foresight. *Scientometrics*, 85(1), 65–79. <https://doi.org/10.1007/s11192-010-0259-8>
- Aguilar, S. J., Galperin, H., Baek, C., & Gonzalez, E. (2021). When school comes home: How low-income families are adapting to distance learning. *AERA Open*, 7(1). <https://doi.org/10.1177/23328584211065740>
- Instefjord, E. J., & Munthe, E. (2017). Educating digitally competent teachers: A study of integration of professional digital competence in teacher education. *Teaching and Teacher Education*, 67, 37–45. <https://doi.org/10.1016/j.tate.2017.05.016>
- Leydesdorff, L., Bornmann, L., & Wagner, C. S. (2016). The relative influences of government funding and international collaboration on citation impact. *Journal of the Association for Information Science and Technology*, 67(4), 1043–1049. <https://doi.org/10.1002/asi.23469>
- Marinoni, G., Van't Land, H., & Jensen, T. (2020). *The impact of Covid-19 on higher education around the world*. International Association of Universities. https://www.iau-aiu.net/IMG/pdf/iau_covid19_and_he_survey_report_final_may_2020.pdf
- Trust, T., & Whalen, J. (2023). Emergency remote teaching with technology during the COVID-19 pandemic: Using the whole teacher lens to examine educator's experiences and insights. *Educational Technology Research and Development*, 71(1), 55–76. <https://doi.org/10.1007/s11423-022-10150-8>
- English, L. D. (2016). STEM education K-12: Perspectives on integration. *International Journal of STEM Education*, *3*(1), 1–8. <https://doi.org/10.1186/s40594-016-0036-1>
- Kirkwood, A., & Price, L. (2014). Technology-enhanced learning and teaching in higher education: What is 'enhanced' and how do we know? A critical literature review. *Learning, Media and Technology*, *39*(1), 6–36. <https://doi.org/10.1080/17439884.2013.770404>
- Koehler, M. J., & Mishra, P. (2009). What is technological pedagogical content knowledge? *Contemporary Issues in Technology and Teacher Education*, *9*(1), 60–70.

- Scherer, R., Siddiq, F., & Tondeur, J. (2019). The technology acceptance model (TAM): A meta-analytic structural equation modeling approach to explaining teachers' adoption of digital technology in education. *Computers & Education*, *128*, 13–35. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2018.09.009>
- Voogt, J., Erstad, O., Dede, C., & Mishra, P. (2013). Challenges to learning and schooling in the digital networked world of the 21st century. *Journal of Computer Assisted Learning*, *29*(5), 403–413. <https://doi.org/10.1111/jcal.12029>
- European Civil Protection and Humanitarian Aid Operations. (2025). *European Disaster Risk Management*. European Commission. Retrieved January 30, 2026, from [https://civil-protection-humanitarian-aid.ec.europa.eu/what/civil-protection/european-disaster-risk-management_en\[citation:2\]](https://civil-protection-humanitarian-aid.ec.europa.eu/what/civil-protection/european-disaster-risk-management_en[citation:2])
- European Commission. (2024). *Open topic on Improving disaster risk management and governance to ensure self-sufficiency and sustainability of operations in support of enhanced resilience* (Call: HORIZON-CL3-2025-01-DRS-02). Funding & Tenders Portal. Retrieved January 30, 2026, from [https://www.euro-access.eu/en/calls/2247/\[citation:5\]](https://www.euro-access.eu/en/calls/2247/[citation:5])
- Huang, R., Tlili, A., Chang, T. W., Zhang, X., Nascimbeni, F., & Burgos, D. (2022). Disrupted classes, undisrupted learning during COVID-19 outbreak in China: Application of open educational practices and resources. *Smart Learning Environments*, 9(1), 1-16. <https://doi.org/10.1186/s40561-022-00200-2>
- Starkey, L. (2019). A review of research exploring teacher preparation for the digital age. *Cambridge Journal of Education*, 50(1), 37–56. <https://doi.org/10.1080/0305764X.2019.1625867>
- UNDRR. (2024). *2024 EFDRR - Europe and Central Asia Regional Platform for Disaster Risk Reduction*. United Nations Office for Disaster Risk Reduction. Retrieved January 30, 2026, from [https://efdr.undrr.org/2024\[citation:4\]](https://efdr.undrr.org/2024[citation:4])
- UNDRR. (2015). *Sendai Framework for Disaster Risk Reduction 2015-2030*. United Nations Office for Disaster Risk Reduction.
- Anwar, M., & Gistituati, N. (2025). EXARIS Model Development: Enhancing Elementary Scientific and Digital Literacy. *Educational Process: International Journal (EDUPIJ)*, *18*(450). <https://doi.org/10.22521/edupij.2025.18.450>
- Bouchrika, I. (2026). 10 Online Education Trends: 2026 Predictions, Reports & Data. *Research.com*. Diakses 30 Januari 2026, dari <https://research.com/education/online-education-trends>
- DataReportal. (2026). *Digital 2026: Indonesia*. Kepios. Diakses 30 Januari 2026, dari <https://datareportal.com/reports/digital-2026-indonesia>
- Kemp, S. (2026). *Digital 2026: Indonesia*. Datareportal. Diakses 30 Januari 2026, dari <https://datareportal.com/reports/digital-2026-indonesia>
- Maphoto, K. B., & Moloi, T. W. (2025). Digital Transformation in the Higher Education Sector: A Systematic Literature Review. *Administrative Sciences*, *16*(1), 1. <https://doi.org/10.3390/admsci16010001>
- Sánchez, L., et al. (2022). Evolution of Scientific Production on Health Literacy and Health Education—A Bibliometric Analysis. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, *19*(7), 4356. <https://doi.org/10.3390/ijerph19074356>
- Birkle, C., Pendlebury, D. A., Schnell, J., & Adams, J. (2020). Web of Science as a data source for research on scientific and scholarly activity. *Quantitative Science Studies*, *1*(1), 363–376. https://doi.org/10.1162/qss_a_00018

- Maphoto, K. B., & Moloi, T. W. (2025). Digital Transformation in the Higher Education Sector: A Systematic Literature Review. *Administrative Sciences*, *16*(1), 1. <https://doi.org/10.3390/admsci16010001>
- Scherer, R., Howard, S. K., Tondeur, J., & Siddiq, F. (2021). Profiling teachers' readiness for online teaching and learning in higher education: Who's ready? *Computers in Human Behavior*, *118*, 106675. <https://doi.org/10.1016/j.chb.2020.106675>
- Thelwall, M., & Wilson, P. (2014). Regression for citation data: An evaluation of different methods. *Journal of Informetrics*, *8*(4), 963–971. <https://doi.org/10.1016/j.joi.2014.09.011>
- Waltman, L. (2016). A review of the literature on citation impact indicators. *Journal of Informetrics*, *10*(2), 365–391. <https://doi.org/10.1016/j.joi.2016.02.007>
- Wang, J. (2018). Citation time window choice for research impact evaluation. *Scientometrics*, *114*(3), 1323–1339. <https://doi.org/10.1007/s11192-017-2628-z>
- Crane, D. (1972). *Invisible colleges: Diffusion of knowledge in scientific communities*. University of Chicago Press.
- de Solla Price, D. J. (1963). *Little science, big science*. Columbia University Press.
- Egghe, L. (2005). *Power laws in the information production process: Lotkaian informetrics*. Elsevier.
- Lotka, A. J. (1926). The frequency distribution of scientific productivity. *Journal of the Washington Academy of Sciences*, *16*(12), 317–323.
- Merton, R. K. (1968). The Matthew effect in science. *Science*, *159*(3810), 56–63.
- Newman, M. E. J. (2004). Coauthorship networks and patterns of scientific collaboration. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, *101*(suppl 1), 5200–5205. <https://doi.org/10.1073/pnas.0307545100>
- Small, H. (1973). Co-citation in the scientific literature: A new measure of the relationship between two documents. *Journal of the American Society for Information Science*, *24*(4), 265–269.
- Zuccala, A. (2006). Author cocitation analysis is to intellectual structure as web colink analysis is to ...? *Journal of the American Society for Information Science and Technology*, *57*(11), 1487–1502. <https://doi.org/10.1002/asi.20468>
- Crane, D. (1972). *Invisible colleges: Diffusion of knowledge in scientific communities*. University of Chicago Press.
- Maphoto, K. B., & Moloi, T. W. (2025). Digital Transformation in the Higher Education Sector: A Systematic Literature Review. *Administrative Sciences*, *16*(1), 1. <https://doi.org/10.3390/admsci16010001>
- Newman, M. E. J. (2004). Coauthorship networks and patterns of scientific collaboration. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, *101*(suppl 1), 5200–5205. <https://doi.org/10.1073/pnas.0307545100>
- Voogt, J., Erstad, O., Dede, C., & Mishra, P. (2013). Challenges to learning and schooling in the digital networked world of the 21st century. *Journal of Computer Assisted Learning*, *29*(5), 403–413. <https://doi.org/10.1111/jcal.12029>
- Nature Index. (2025). *2025 Research Leaders: Leading countries/territories*. Nature.
- UK Department for Science, Innovation & Technology. (2025). *International comparison of the UK research base, 2025*. [GOV.UK](https://gov.uk).
- UNESCO. (2021). *Countries' top five foreign collaborators by number of scientific publications, 2014–2016 and 2017–2019*. Dalam *UNESCO Science Report: The Race Against Time for Smarter Development*.

- Biko, M. (2025). Pemanfaatan Teknologi Digital dalam Pembelajaran IPA di SD. *Jurnal Pendidikan Mosikolah*, 4(1), 636–642.
- Lay, M. B., Fallo, D., Oematan, F. H., Talan, N. T., & Amseke, F. V. (2026). Pengaruh Pembelajaran Saintifik Terhadap Kemampuan Berpikir Kritis Anak Usia Dini. *E-MAS: Jurnal Pengabdian Kepada Masyarakat*, 1(4).
- Rahmadhani, S. (2025). Menumbuhkan Rasa Ingin Tahu Siswa Melalui Pendekatan STEAM Dalam Pembelajaran IPA Di Sekolah Dasar. *Jurnal Intelektual*, 1(1).
- Saputra, E. E., Adelina, E., Yolanda, W., Arwanti, E., & Novikasari, N. (2024). Studi Literature: Peran Pendidikan IPA dalam Mengembangkan Keterampilan Berpikir Kritis Pada Anak Usia Sekolah Dasar. *Catha: Journal of Creative and Innovative Research*, 1(1), 34-44.
- Surya, Y. F., Sumianto, Al Amin, & Armiswati. (2025). Pelatihan Pendampingan Implementasi STEM untuk Meningkatkan Kualitas Pembelajaran IPA Bagi Kelompok Kerja Guru SD. *Jurnal Pengabdian Masyarakat Dan Riset Pendidikan*, 3(3), 117–121
- Syarief Abdullah, M. (2025). PENERAPAN PENDEKATAN STEM DALAM PEMBELAJARAN IPA UNTUK MENINGKATKAN KETERAMPILAN BERPIKIR KRITIS SISWA KELAS 5 SD. *SINERGI: Jurnal Riset Ilmiah*, 2(4).
- Gómez Niño, J. R., Árias Delgado, L. P., Chiappe, A., & González, E. O. (2025). Gamifying learning with AI: A pathway to 21st-century skills. *International Journal of Educational Technology in Higher Education*.
- Rehman, N., et al. (2024). Project-based learning as a catalyst for 21st-century skills and student engagement in the math classroom. *Heliyon*, *10*. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e39988>
- Shobiroh, A., Rizkiyah, L., Isnaeni, I., Wardani, R. K., Dewi, I. L., & Maemana, A. (2025). Pengembangan Kompetensi Abad 21 Melalui Integrasi Model Pembelajaran Inovatif dan Teknologi Digital: Sebuah Systematic Literature Review. *EKSAKTA: Jurnal Penelitian dan Pembelajaran MIPA*, *11*(1), 70-80. <https://doi.org/10.31604/eksakta.v11i1.70-80>
- Indrianingsi, A., Sihotang, H., & Simbolon, B. (2025). ANALYSIS OF TEACHER ABILITY IN USING LEARNING TECHNOLOGY: SYSTEMATIC LITERATURE REVIEW (SLR). *Multidiciplinary Output Research For Actual and International Issue (MORFAI)*, 5(3), 5511–5519. <https://doi.org/10.54443/morfai.v5i3.4137>
- Sundahry, S. (2025). Literasi Digital sebagai Fondasi Pengembangan Keterampilan Mahasiswa PGSD dalam Perancangan Pembelajaran IPAS Gamifikasi: Tinjauan Literatur. *PROSIDING SEMINAR NASIONAL KEGURUAN DAN PENDIDIKAN (SNKP)*, 3, 53-60. <https://www.ejournal.ummuba.ac.id/index.php/SNKP/article/view/3112>
- Wang, Y. (2026). Digital competence for sustainable education of pre-service teachers: a systematic literature review (2014–2024). *Frontiers in Psychology*, 13. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2025.1710983>