

Integrasi Teknologi Menuju Transformasi Pedagogis dalam Penelitian *STEM Education* melalui *Bibliometric Systematic Literature Review*

Paisal Ansiska^{1*}

Pendidikan Geografi, Universitas Pattimura¹

*Email Korespondensi: paisal.ansiska@outlook.com

Sejarah Artikel:

Diterima 18-06-2026
Disetujui 25-06-2026
Diterbitkan 30-06-2026

ABSTRACT

STEM Education has emerged as a strategic educational approach for developing twenty-first-century competencies, including critical thinking, problem-solving, creativity, and technological literacy. Despite the rapid growth of STEM Education research, a comprehensive understanding of its scientific evolution, intellectual foundations, conceptual structure, and future research directions remains limited. Therefore, this study aims to examine the development and knowledge structure of STEM Education through a Bibliometric-Systematic Literature Review (BSLR). Data were collected from the OpenAlex database using the keyword "STEM Education" for the period 2020–2025. Following the PRISMA protocol, 180 articles were selected for analysis. Bibliometric analysis was conducted using Bibliometrix/Biblioshiny to investigate scientific production, influential sources, conceptual structures, thematic development, and thematic evolution. The systematic review was then employed to synthesize major research themes and identify future research opportunities. The findings reveal that STEM Education research has experienced continuous growth and has evolved from a technology-oriented perspective toward a more pedagogy-centered approach. Three major conceptual domains were identified, namely pedagogy, educational technology, and competency development. Furthermore, four dominant themes emerged from the literature: pedagogical innovation, technology-enhanced STEM learning, higher-order thinking development, and teacher professional capacity. The study also identifies several theoretical, methodological, contextual, and technological gaps that require further investigation. Based on these findings, a conceptual framework is proposed to explain the relationships among supporting factors, learning mechanisms, competency development, and educational outcomes in STEM Education. This study contributes to the literature by integrating bibliometric mapping and systematic synthesis, providing a comprehensive understanding of the evolution and future direction of STEM Education research.

Keywords: *STEM Education; Bibliometric Analysis; Systematic Literature Review; Educational Technology; Higher-Order Thinking*

ABSTRAK

STEM Education telah berkembang menjadi salah satu pendekatan pendidikan strategis dalam mengembangkan kompetensi abad ke-21, seperti berpikir kritis, pemecahan masalah, kreativitas, dan literasi teknologi. Meskipun penelitian STEM Education mengalami pertumbuhan yang pesat, pemahaman yang komprehensif mengenai evolusi ilmiah, fondasi intelektual, struktur konseptual, dan arah penelitian masa depan masih relatif terbatas. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis perkembangan dan struktur pengetahuan STEM Education melalui pendekatan Bibliometric-Systematic Literature Review (BSLR). Data

penelitian diperoleh dari basis data OpenAlex menggunakan kata kunci “STEM Education” pada periode 2020–2025. Melalui proses seleksi berdasarkan protokol PRISMA, sebanyak 180 artikel dipilih sebagai dataset penelitian. Analisis bibliometrik dilakukan menggunakan Bibliometrix/Biblioshiny untuk mengidentifikasi perkembangan publikasi, sumber ilmiah berpengaruh, struktur konseptual, perkembangan tema, dan evolusi tematik. Selanjutnya, tinjauan sistematis digunakan untuk mensintesis tema-tema utama dan mengidentifikasi peluang penelitian masa depan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa STEM Education mengalami pertumbuhan yang konsisten dan berkembang dari pendekatan yang berorientasi pada teknologi menuju pendekatan yang lebih berpusat pada pedagogi. Tiga domain konseptual utama yang membentuk bidang ini adalah pedagogi, teknologi pendidikan, dan pengembangan kompetensi. Selain itu, ditemukan empat tema dominan, yaitu inovasi pedagogis, pembelajaran STEM berbasis teknologi, pengembangan keterampilan berpikir tingkat tinggi, dan penguatan kapasitas profesional guru. Penelitian ini juga mengidentifikasi berbagai kesenjangan teoretis, metodologis, kontekstual, dan teknologi yang memerlukan perhatian lebih lanjut. Berdasarkan temuan tersebut, penelitian ini mengusulkan sebuah framework konseptual yang menjelaskan hubungan antara faktor pendukung, mekanisme pembelajaran, pengembangan kompetensi, dan luaran pendidikan STEM. Temuan penelitian memberikan kontribusi teoritis dan praktis dalam memahami perkembangan serta arah masa depan penelitian STEM Education.

Katakunci: STEM Education; Analisis Bibliometrik; Tinjauan Literatur Sistematis; Teknologi Pendidikan; Berpikir Tingkat Tinggi

Bagaimana Cara Sitasi Artikel ini:

Ansiska, P. (2026). Integrasi Teknologi Menuju Transformasi Pedagogis dalam Penelitian STEM Education melalui Bibliometric Systematic Literature Review. Jejak Digital: Jurnal Ilmiah Multidisiplin, 2(4), 9137-9156. <https://doi.org/10.63822/kkhj8x24>

PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi digital, kecerdasan buatan, otomatisasi, dan transformasi industri telah mengubah kebutuhan kompetensi yang harus dimiliki oleh generasi masa depan. Dunia pendidikan dituntut tidak hanya menghasilkan lulusan yang menguasai pengetahuan akademik, tetapi juga individu yang mampu berpikir kritis, kreatif, kolaboratif, dan mampu memecahkan masalah kompleks dalam lingkungan yang terus berubah. Dalam konteks tersebut, Science, Technology, Engineering, and Mathematics (STEM) Education muncul sebagai salah satu pendekatan pendidikan yang paling banyak mendapat perhatian karena mampu mengintegrasikan berbagai disiplin ilmu untuk membangun kompetensi abad ke-21 secara holistik (Suh et al., 2020; Tang et al., 2023). Pendekatan STEM tidak lagi dipahami sebagai penggabungan empat disiplin ilmu secara sederhana, melainkan sebagai kerangka pembelajaran yang menghubungkan konsep akademik dengan permasalahan nyata melalui aktivitas investigatif, desain rekayasa, dan pemecahan masalah berbasis konteks. Peningkatan perhatian terhadap STEM Education juga didorong oleh kebutuhan global untuk menghasilkan sumber daya manusia yang mampu beradaptasi dengan ekonomi berbasis pengetahuan dan inovasi. Berbagai negara telah menjadikan STEM Education sebagai prioritas strategis dalam kebijakan pendidikan nasional karena dianggap mampu meningkatkan daya saing ekonomi, kapasitas inovasi, serta kesiapan tenaga kerja di masa depan (Haag et al., 2023; Triplett, 2023). Oleh karena itu, STEM Education berkembang menjadi salah satu bidang penelitian yang paling dinamis dalam ilmu pendidikan modern.

Dalam satu dekade terakhir, penelitian STEM Education mengalami pertumbuhan yang sangat pesat. Awalnya, sebagian besar penelitian berfokus pada integrasi kurikulum dan pengembangan model pembelajaran berbasis STEM. Namun, perkembangan teknologi digital telah memperluas ruang lingkup penelitian menuju isu-isu yang lebih kompleks, seperti pembelajaran berbasis kecerdasan buatan, virtual learning environment, computational thinking, learning analytics, dan personalisasi pembelajaran (Kareem et al., 2022). Selain perkembangan teknologi, perubahan paradigma pendidikan juga memengaruhi arah penelitian STEM Education. Fokus penelitian tidak lagi hanya menilai efektivitas program STEM terhadap hasil belajar, tetapi juga mengeksplorasi bagaimana STEM dapat mengembangkan kreativitas, kemampuan berpikir tingkat tinggi, literasi digital, serta kesiapan peserta didik menghadapi tantangan sosial dan ekonomi masa depan (Hu et al., 2024; Wahono et al., 2025). Perkembangan tersebut menunjukkan bahwa STEM Education telah berevolusi dari pendekatan pedagogis menjadi ekosistem pembelajaran multidimensional yang melibatkan aspek teknologi, kurikulum, kebijakan, dan pengembangan sumber daya manusia.

Sejumlah studi sebelumnya telah berupaya memetakan perkembangan STEM Education melalui tinjauan sistematis maupun studi bibliometrik. Beberapa penelitian menyoroti efektivitas implementasi STEM terhadap peningkatan hasil belajar dan keterampilan berpikir kritis peserta didik (Brouwer et al., 2024; Erol, 2024). Penelitian lainnya berfokus pada integrasi teknologi digital dan kecerdasan buatan sebagai instrumen untuk meningkatkan kualitas pembelajaran STEM (Hu et al., 2024; Huang et al., 2024). Meskipun demikian, sebagian besar penelitian terdahulu masih memiliki keterbatasan. Banyak studi bibliometrik hanya berfokus pada indikator produktivitas seperti jumlah publikasi, penulis produktif, atau tren sitasi tanpa mengembangkan sintesis konseptual yang lebih mendalam. Sebaliknya, studi systematic literature review umumnya memberikan pemahaman substantif yang kuat tetapi belum mampu memetakan struktur intelektual dan evolusi tema penelitian secara komprehensif. Akibatnya, pemahaman mengenai bagaimana STEM Education berkembang sebagai bidang ilmu, bagaimana struktur pengetahuannya

terbentuk, dan ke mana arah perkembangannya di masa depan masih relatif terfragmentasi (Villegas-Ch et al., 2025)

Berdasarkan kondisi tersebut, terdapat beberapa kesenjangan penelitian yang masih perlu diatasi. Pertama, masih terbatas penelitian yang mengintegrasikan analisis evolusi ilmiah, fondasi intelektual, struktur konseptual, dan sintesis tematik dalam satu kerangka analisis yang utuh. Kedua, sebagian besar studi terdahulu belum mengidentifikasi hubungan antara perkembangan tema penelitian dengan agenda penelitian masa depan secara sistematis. Ketiga, meningkatnya penggunaan teknologi cerdas dan kecerdasan buatan dalam pendidikan STEM belum diimbangi dengan pemahaman yang memadai mengenai implikasi konseptual dan arah transformasi bidang tersebut (Hu et al., 2024; Huang et al., 2024; Villegas-Ch et al., 2025). Selain itu, penelitian STEM Education masih didominasi oleh konteks negara maju sehingga diperlukan pemahaman yang lebih komprehensif mengenai bagaimana struktur pengetahuan bidang ini berkembang secara global. Kesenjangan tersebut menunjukkan perlunya pendekatan yang tidak hanya memetakan literatur, tetapi juga mensintesis pengetahuan untuk menghasilkan agenda penelitian yang lebih terarah.

Penelitian ini memberikan kontribusi pada literatur STEM Education melalui pendekatan Bibliometric-Systematic Literature Review (BSLR) yang mengintegrasikan analisis bibliometrik dan sintesis sistematis secara bersamaan. Berbeda dengan penelitian sebelumnya yang cenderung berfokus pada produktivitas ilmiah atau efektivitas implementasi STEM secara terpisah, studi ini menghubungkan evolusi ilmiah, fondasi intelektual, struktur konseptual, sintesis tematik, dan agenda penelitian masa depan dalam satu kerangka analisis yang terintegrasi. Kontribusi utama penelitian ini terletak pada tiga aspek. Pertama, memetakan perkembangan ilmiah STEM Education selama periode 2020–2025. Kedua, mengidentifikasi struktur pengetahuan dan transformasi konseptual yang membentuk bidang STEM Education. Ketiga, mengembangkan agenda penelitian masa depan serta framework konseptual yang menjelaskan hubungan antara faktor pendukung, proses pembelajaran, pengembangan kompetensi, dan luaran pendidikan STEM. Dengan demikian, penelitian ini tidak hanya menghasilkan pemetaan bibliometrik, tetapi juga memberikan kontribusi teoritis dan konseptual yang lebih kuat bagi pengembangan STEM Education.

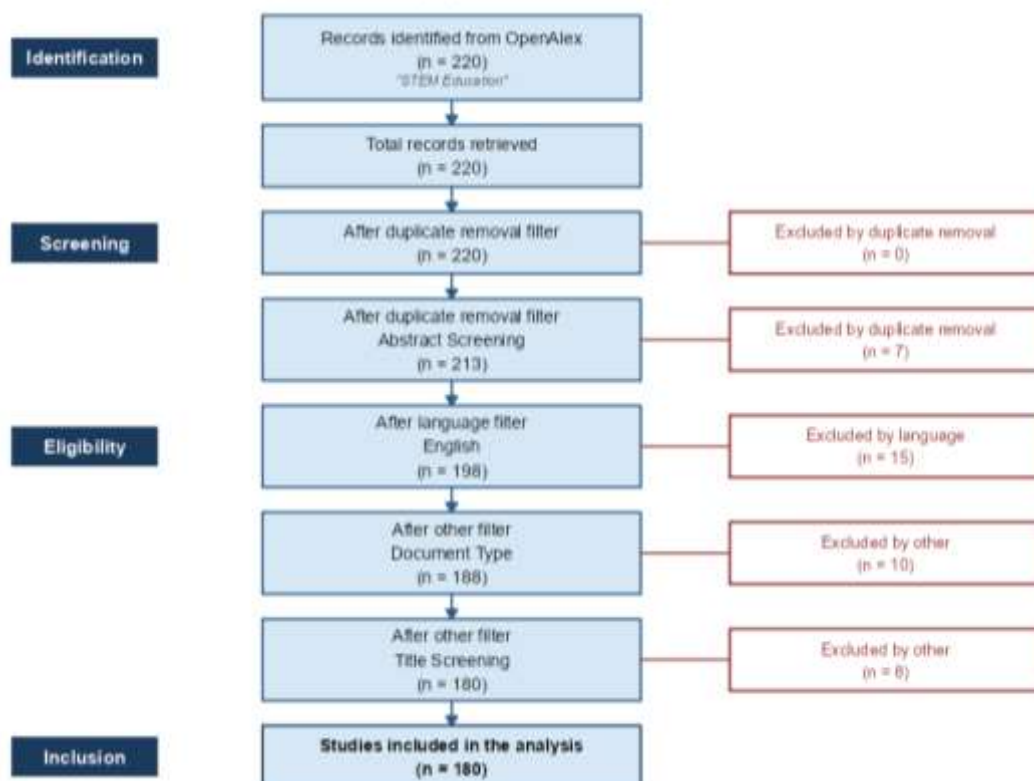
Berdasarkan latar belakang tersebut, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis perkembangan dan struktur pengetahuan STEM Education melalui pendekatan Bibliometric-Systematic Literature Review. Secara khusus, penelitian ini bertujuan untuk: (1) mengidentifikasi evolusi ilmiah penelitian STEM Education selama periode 2020–2025; (2) menganalisis fondasi intelektual dan pengaruh ilmiah yang membentuk bidang penelitian ini; (3) memetakan struktur konseptual dan evolusi tema penelitian STEM Education; (4) mensintesis tema-tema utama yang mendominasi literatur; serta (5) mengembangkan agenda penelitian masa depan dan framework konseptual yang dapat menjadi dasar bagi pengembangan penelitian dan praktik STEM Education di masa mendatang. Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan pemahaman yang lebih komprehensif mengenai arah perkembangan STEM Education sekaligus menjadi referensi bagi peneliti, praktisi, dan pembuat kebijakan dalam merancang inovasi pendidikan yang relevan dengan kebutuhan abad ke-21.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan pendekatan Bibliometric-Systematic Literature Review (BSLR) untuk menganalisis perkembangan, struktur pengetahuan, sintesis tematik, dan arah penelitian masa depan dalam bidang STEM Education. Pendekatan BSLR dipilih karena mampu mengintegrasikan kekuatan analisis

bibliometrik dalam memetakan lanskap penelitian dengan tinjauan sistematis yang memungkinkan sintesis konseptual dan identifikasi kesenjangan penelitian secara lebih mendalam. Metode ini sangat sesuai untuk mengkaji bidang STEM Education yang berkembang pesat dan memiliki karakter multidisipliner. Sumber data penelitian berasal dari OpenAlex, yang dipilih karena menyediakan akses terbuka terhadap metadata publikasi ilmiah yang luas dan terus diperbarui. Proses pencarian dilakukan menggunakan kata kunci utama “STEM Education” pada periode publikasi 2020–2025. Rentang waktu tersebut dipilih untuk menangkap perkembangan terbaru STEM Education, khususnya setelah percepatan transformasi digital pendidikan dan meningkatnya integrasi teknologi cerdas dalam proses pembelajaran. Hasil pencarian awal menghasilkan 220 dokumen yang relevan dengan topik penelitian.

Proses seleksi literatur mengikuti prinsip PRISMA (*Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses*) yang telah diadaptasi untuk studi bibliometrik. Tahapan pertama adalah identifikasi dokumen dari basis data OpenAlex. Selanjutnya dilakukan proses penyaringan berdasarkan abstrak, bahasa publikasi, tipe dokumen, dan kesesuaian judul dengan fokus penelitian. Pada tahap abstrak, sebanyak 7 dokumen dieliminasi karena tidak memiliki relevansi langsung dengan STEM Education. Tahap berikutnya menerapkan filter bahasa sehingga hanya publikasi berbahasa Inggris yang dipertahankan, menghasilkan pengurangan 15 dokumen. Selanjutnya dilakukan penyaringan berdasarkan tipe dokumen dengan mengecualikan publikasi yang tidak memenuhi kriteria inklusi, sehingga 10 dokumen dikeluarkan. Pada tahap akhir dilakukan pemeriksaan judul dan relevansi substansi yang menyebabkan 8 dokumen tambahan dieliminasi. Setelah seluruh proses seleksi selesai, diperoleh 180 artikel yang digunakan sebagai dataset final penelitian.



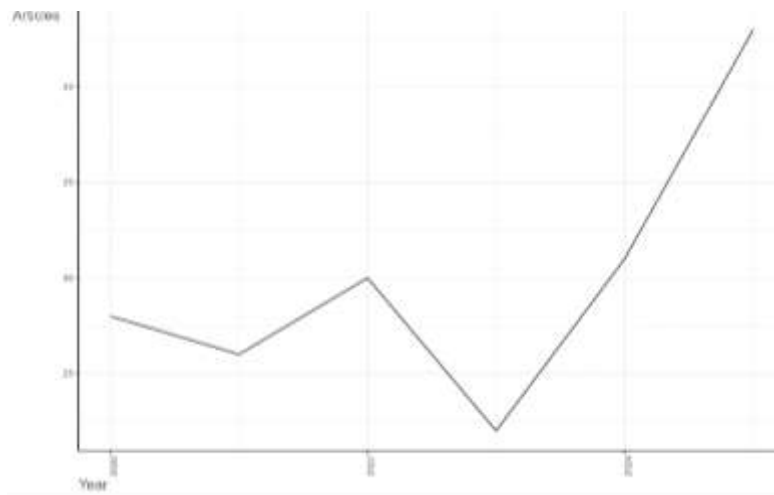
Gambar 1. Diagram Alur PRISMA Proses Seleksi Literatur Penelitian STEM Education

Analisis bibliometrik dilakukan menggunakan perangkat lunak Bibliometrix/Biblioshiny untuk menghasilkan berbagai indikator yang menggambarkan perkembangan bidang STEM Education. Analisis mencakup produksi ilmiah tahunan, distribusi negara, sumber publikasi yang relevan, sumber yang paling banyak disitasi, jaringan ko-kemunculan kata kunci (*keyword co-occurrence*), peta tematik (*thematic map*), dan evolusi tematik (*thematic evolution*). Analisis tersebut digunakan untuk mengidentifikasi pola perkembangan penelitian, fondasi intelektual, struktur konseptual, dan tema-tema dominan dalam STEM Education (Aria & Cuccurullo, 2017; Moral-Muñoz et al., 2020). Selanjutnya, tahap tinjauan sistematis dilakukan terhadap artikel yang terpilih untuk mengidentifikasi tema-tema penelitian utama, hubungan antartema, kesenjangan penelitian, serta peluang penelitian masa depan. Proses sintesis dilakukan secara tematik dengan mengelompokkan temuan penelitian ke dalam beberapa kategori konseptual yang memiliki kesamaan fokus. Pendekatan ini memungkinkan integrasi antara hasil pemetaan bibliometrik dan interpretasi substantif literatur sehingga menghasilkan pemahaman yang lebih komprehensif mengenai perkembangan STEM Education (Paul & Criado, 2020; Snyder, 2019). Melalui kombinasi analisis bibliometrik dan sintesis sistematis, penelitian ini tidak hanya memetakan evolusi bidang STEM Education, tetapi juga mengembangkan agenda penelitian masa depan dan *framework* konseptual yang menjelaskan hubungan antara faktor pendukung, mekanisme pembelajaran, pengembangan kompetensi, dan luaran pendidikan STEM. Pendekatan tersebut memberikan kontribusi yang lebih luas dibandingkan studi bibliometrik konvensional yang umumnya hanya berfokus pada indikator produktivitas dan sitasi (Donthu et al., 2021; Zupic & Čater, 2015).

HASIL DAN PEMBAHASAN

1. volusi Ilmiah Penelitian Pendidikan STEM

STEM Education telah berkembang menjadi salah satu bidang penelitian yang semakin penting dalam menjawab kebutuhan kompetensi abad ke-21, khususnya terkait kemampuan berpikir kritis, pemecahan masalah, kreativitas, dan literasi teknologi. Perkembangan teknologi digital, kecerdasan buatan, serta tuntutan transformasi pendidikan telah mendorong peningkatan perhatian akademik terhadap implementasi dan pengembangan STEM Education di berbagai jenjang pendidikan. Dalam beberapa tahun terakhir, penelitian STEM Education tidak hanya berfokus pada integrasi sains, teknologi, teknik, dan matematika, tetapi juga mulai mengeksplorasi inovasi pedagogis, pengembangan kurikulum, pembelajaran berbasis inkuiri, serta pemanfaatan teknologi cerdas dalam proses pembelajaran (Huang et al., 2024; Triplett, 2023; Villegas-Ch et al., 2025). Untuk memahami perkembangan bidang ini secara lebih komprehensif, analisis evolusi ilmiah dilakukan melalui dua perspektif utama, yaitu perkembangan publikasi dari waktu ke waktu dan dinamika kontribusi negara dalam menghasilkan penelitian STEM Education. Kedua analisis tersebut memberikan gambaran mengenai tingkat pertumbuhan bidang penelitian serta pola penyebaran pengetahuan STEM Education pada tingkat global.



Gambar 2. Produksi Publikasi Ilmiah Tahunan Penelitian STEM Education
Periode 2020–2025

Berdasarkan Gambar 2, penelitian STEM Education menunjukkan tren pertumbuhan yang positif selama periode 2020–2025 dengan tingkat pertumbuhan tahunan sebesar 8,96%. Jumlah publikasi meningkat dari 28 artikel pada tahun 2020 menjadi 43 artikel pada tahun 2025. Meskipun terjadi fluktuasi pada beberapa tahun, khususnya penurunan pada tahun 2023, tren keseluruhan menunjukkan bahwa minat akademik terhadap STEM Education terus meningkat. Peningkatan publikasi tersebut mencerminkan semakin luasnya penerapan STEM Education dalam berbagai konteks pendidikan. Pada periode awal, penelitian banyak menyoroti integrasi teknologi dan pendekatan pembelajaran STEM untuk meningkatkan keterlibatan peserta didik. Seiring perkembangan bidang, fokus penelitian bergeser menuju inovasi pedagogis, pengembangan kompetensi berpikir tingkat tinggi, pembelajaran berbasis inkuiri, serta pemanfaatan kecerdasan buatan dalam pendidikan STEM (Bunyamin et al., 2020; Haag et al., 2023). Kondisi ini menunjukkan bahwa STEM Education telah berkembang dari sekadar pendekatan integratif menjadi kerangka pendidikan yang mendukung pengembangan kompetensi masa depan.

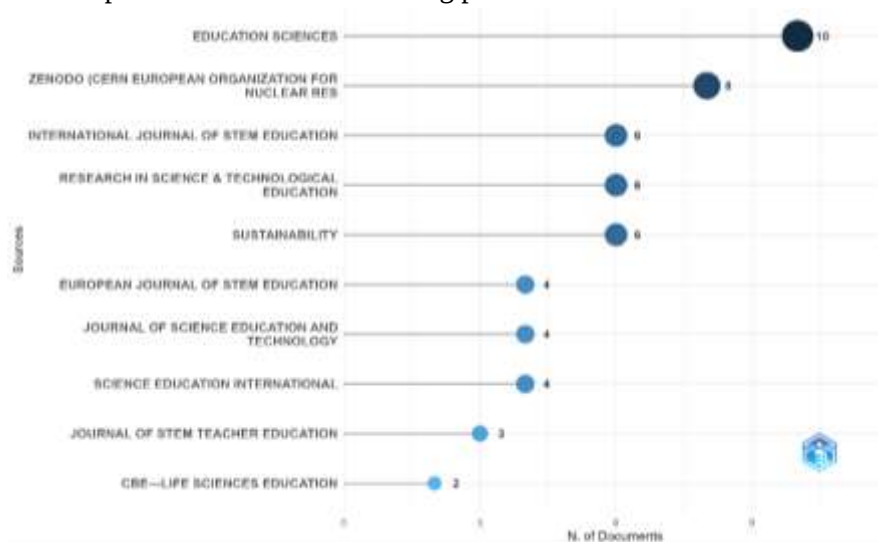


Gambar 3. Perkembangan Produksi Publikasi STEM Education Berdasarkan
Negara (2020–2025)

Gambar 3 memperlihatkan bahwa Amerika Serikat merupakan kontributor utama dalam penelitian STEM Education sepanjang periode pengamatan. Dominasi tersebut menunjukkan kuatnya ekosistem penelitian, dukungan kebijakan pendidikan, serta investasi yang berkelanjutan dalam pengembangan pendidikan STEM. Selain Amerika Serikat, China menunjukkan pertumbuhan yang cukup pesat setelah tahun 2022, mengindikasikan meningkatnya perhatian negara-negara Asia terhadap pengembangan kompetensi STEM sebagai bagian dari strategi pembangunan sumber daya manusia. Menariknya, beberapa negara berkembang, termasuk Indonesia, juga menunjukkan tren peningkatan publikasi yang relatif stabil. Temuan ini mengindikasikan bahwa STEM Education telah berkembang menjadi agenda penelitian global yang tidak lagi didominasi secara eksklusif oleh negara-negara Barat. Namun demikian, kesenjangan produktivitas antara negara maju dan negara berkembang masih terlihat cukup jelas. Perbedaan tersebut kemungkinan dipengaruhi oleh kapasitas penelitian, ketersediaan pendanaan, infrastruktur pendidikan, serta tingkat kolaborasi internasional yang dimiliki masing-masing negara. Secara keseluruhan, evolusi penelitian STEM Education selama periode 2020–2025 menunjukkan bahwa bidang ini berada pada fase ekspansi dan konsolidasi. Pertumbuhan publikasi yang berkelanjutan serta semakin luasnya partisipasi negara-negara dalam menghasilkan penelitian menunjukkan bahwa STEM Education telah menjadi salah satu area strategis dalam pengembangan pendidikan modern. Perkembangan tersebut juga mengindikasikan adanya pergeseran fokus penelitian dari integrasi teknologi menuju transformasi pedagogis yang berorientasi pada pengembangan kompetensi abad ke-21, inovasi pembelajaran, dan kesiapan menghadapi tantangan masa depan.

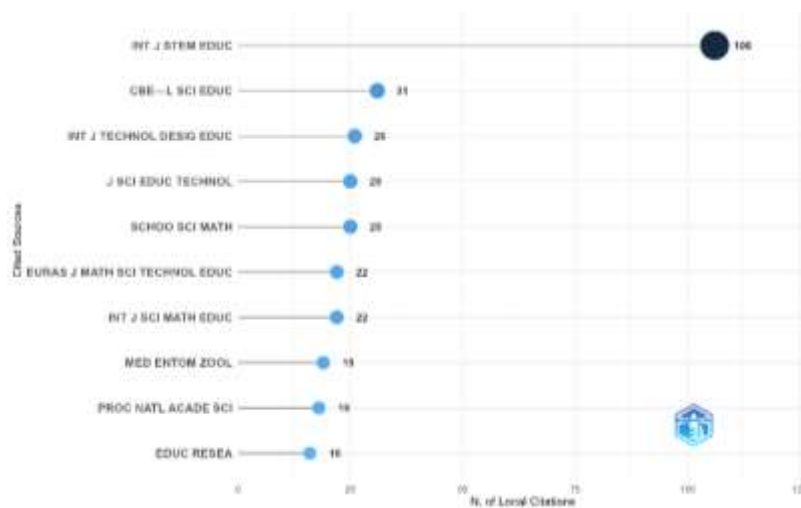
2. Fondasi Intelektual dan Pengaruh Ilmiah Penelitian Pendidikan STEM

Selain memahami perkembangan publikasi, penting untuk mengidentifikasi fondasi intelektual yang membentuk bidang STEM Education. Analisis ini bertujuan untuk mengungkap sumber-sumber ilmiah yang paling berpengaruh dalam pengembangan pengetahuan STEM Education serta menjelaskan bagaimana pengetahuan tersebut disebarluaskan dan dikembangkan oleh komunitas akademik. Dalam studi bibliometrik, analisis sumber publikasi dan sumber sitasi merupakan pendekatan yang umum digunakan untuk mengidentifikasi pusat intelektual suatu bidang penelitian.



Gambar 4. Sumber Publikasi Paling Relevan dalam Penelitian STEM Education

Berdasarkan Gambar 4, *Education Sciences* menjadi sumber publikasi paling produktif dengan sepuluh dokumen yang termasuk dalam dataset penelitian ini. Posisi berikutnya ditempati oleh *International Journal of STEM Education*, *Research in Science & Technological Education*, dan *Sustainability*. Komposisi tersebut menunjukkan bahwa penelitian STEM Education berkembang melalui kombinasi antara jurnal khusus STEM Education dan jurnal pendidikan yang lebih luas. Temuan ini mengindikasikan bahwa STEM Education merupakan bidang yang bersifat multidisipliner. Di satu sisi, penelitian berkembang dalam jurnal-jurnal inti yang secara khusus membahas STEM Education. Di sisi lain, berbagai penelitian juga dipublikasikan pada jurnal yang berfokus pada pendidikan umum, teknologi pendidikan, dan pembangunan berkelanjutan. Kondisi tersebut mencerminkan semakin luasnya penerapan STEM Education sebagai pendekatan untuk mengembangkan kompetensi abad ke-21, literasi teknologi, kreativitas, dan pemecahan masalah dalam berbagai konteks pendidikan. Dominasi jurnal-jurnal pendidikan dan teknologi pendidikan juga menunjukkan bahwa perkembangan STEM Education tidak hanya didorong oleh integrasi disiplin sains dan teknologi, tetapi juga oleh inovasi pedagogis yang berorientasi pada peningkatan kualitas pembelajaran. Berbagai studi dalam dataset menyoroti pengembangan model pembelajaran terintegrasi, inquiry-based learning, problem-based learning, blended learning, serta pemanfaatan kecerdasan buatan untuk mendukung pembelajaran STEM yang lebih adaptif dan personal (Kareem et al., 2022; Triplett, 2023).

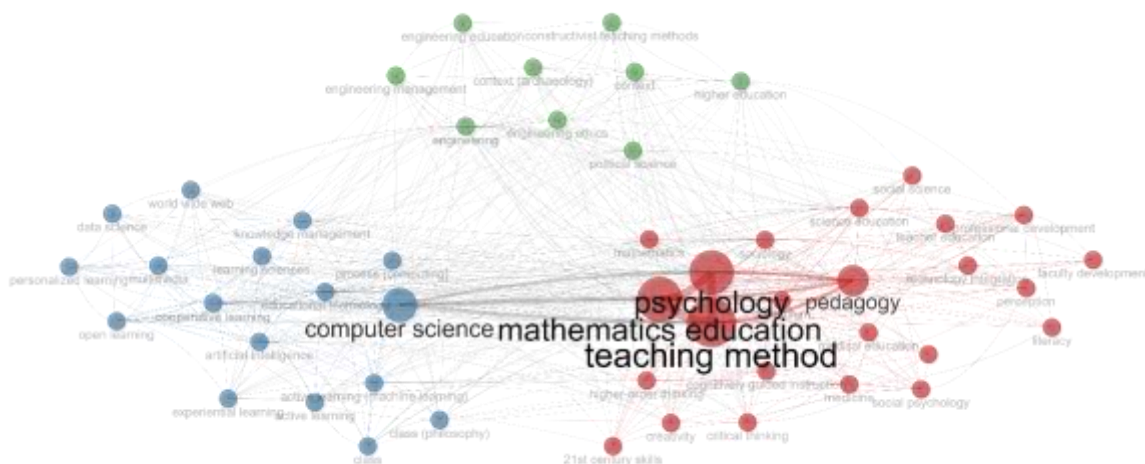


Gambar 5. Sumber yang Paling Banyak Disitasi Secara Lokal dalam Penelitian STEM Education

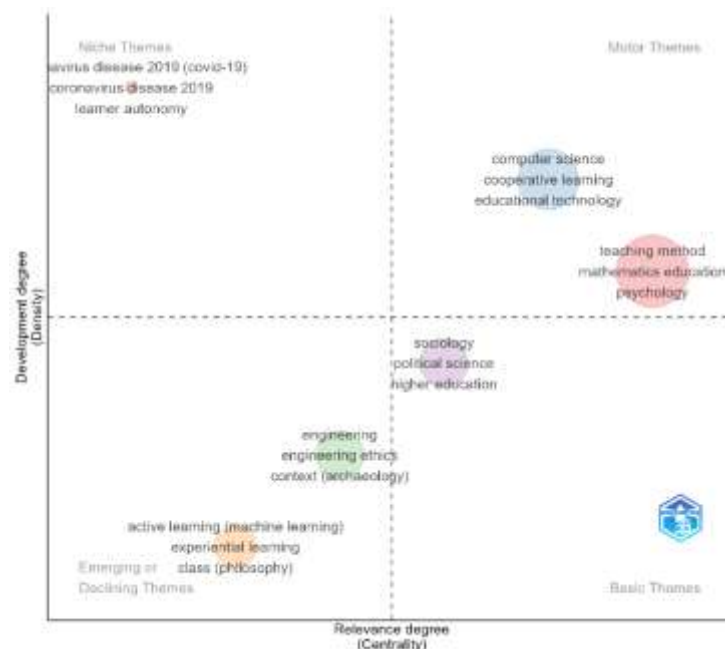
Gambar 5 memperlihatkan bahwa *International Journal of STEM Education* merupakan sumber yang paling banyak disitasi dalam jaringan literatur penelitian ini dengan 106 sitasi lokal. Jarak yang cukup besar dibandingkan sumber lain menunjukkan bahwa jurnal tersebut berperan sebagai pusat intelektual utama dalam perkembangan STEM Education. Posisi berikutnya ditempati oleh *CBE—Life Sciences Education*, *International Journal of Technology and Design Education*, dan *Journal of Science Education and Technology*. Dominasi *International Journal of STEM Education* menunjukkan bahwa bidang ini telah memiliki basis pengetahuan yang relatif mapan dan terorganisasi. Jurnal tersebut tidak hanya menjadi media publikasi, tetapi juga menjadi rujukan utama bagi penelitian-penelitian berikutnya. Sementara itu,

Secara keseluruhan, struktur sitasi yang terbentuk mengindikasikan bahwa fondasi intelektual STEM Education dibangun oleh penelitian yang berfokus pada inovasi pembelajaran, pengembangan kompetensi berpikir tingkat tinggi, integrasi teknologi digital, serta penguatan praktik pengajaran berbasis bukti. Dengan demikian, perkembangan bidang ini tidak lagi sekadar menekankan integrasi disiplin STEM, tetapi telah bergerak menuju transformasi pedagogis yang lebih luas untuk mempersiapkan peserta didik menghadapi tantangan masyarakat berbasis pengetahuan dan teknologi. Hasil analisis ini menunjukkan bahwa pengaruh ilmiah dalam STEM Education terkonsentrasi pada sejumlah jurnal inti yang berperan sebagai pusat produksi dan difusi pengetahuan. Keberadaan pusat intelektual yang kuat tersebut turut menjelaskan mengapa penelitian STEM Education berkembang secara konsisten selama beberapa tahun terakhir dan mampu menghasilkan berbagai inovasi konseptual maupun pedagogis yang terus memperkaya bidang pendidikan modern.

Memahami perkembangan STEM Education tidak cukup hanya melalui pertumbuhan publikasi dan sumber ilmiah yang dominan. Diperlukan analisis terhadap struktur konseptual yang membentuk bidang tersebut untuk mengidentifikasi bagaimana tema-tema penelitian saling berhubungan, berkembang, dan membentuk arah penelitian di masa depan. Oleh karena itu, penelitian ini menganalisis struktur pengetahuan STEM Education melalui tiga pendekatan utama, yaitu *keyword co-occurrence network*, *thematic map*, dan *thematic evolution*. Ketiga analisis tersebut memberikan gambaran mengenai arsitektur konseptual bidang STEM Education sekaligus mengungkap transformasi fokus penelitian selama periode 2020–2025.



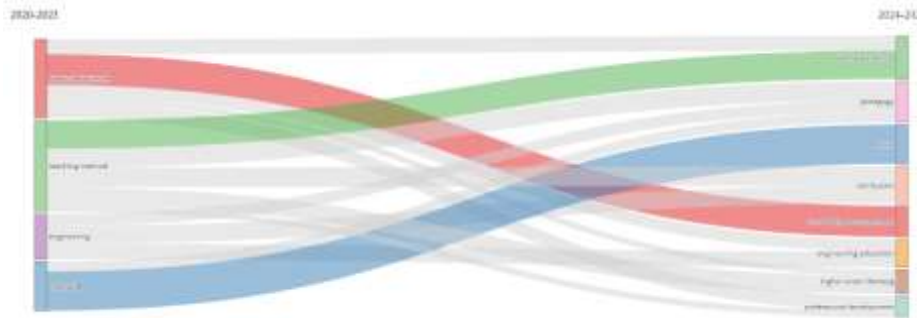
disiplin ilmu, tetapi juga sebagai proses pedagogis yang menekankan keterlibatan peserta didik, motivasi belajar, konstruksi pengetahuan, dan pengembangan pengalaman belajar yang bermakna. Temuan ini sejalan dengan berbagai penelitian yang menyoroti peran konstruktivisme, pembelajaran aktif, dan pengembangan keyakinan guru dalam meningkatkan efektivitas implementasi STEM Education. Domain kedua berpusat pada *computer science*, *educational technology*, dan *cooperative learning*. Munculnya konsep-konsep tersebut menunjukkan bahwa transformasi digital telah menjadi salah satu pendorong utama perkembangan STEM Education. Berbagai penelitian dalam beberapa tahun terakhir memperlihatkan peningkatan pemanfaatan kecerdasan buatan, pembelajaran berbasis data, sistem tutor cerdas, pembelajaran daring, serta integrasi teknologi digital untuk menciptakan lingkungan belajar yang lebih adaptif dan personal. Perkembangan ini menandai pergeseran STEM Education menuju ekosistem pembelajaran yang semakin berbasis teknologi dan analitik pembelajaran. Domain ketiga berpusat pada *engineering*, *engineering education*, dan *higher-order thinking*. Klaster ini menggambarkan orientasi STEM Education terhadap pengembangan kompetensi tingkat tinggi seperti kreativitas, pemecahan masalah kompleks, berpikir sistem, dan kemampuan desain. Posisi klaster yang terhubung dengan dua domain lainnya menunjukkan bahwa kompetensi abad ke-21 dalam STEM tidak dibangun secara terpisah, melainkan melalui integrasi antara pendekatan pedagogis yang efektif dan dukungan teknologi pembelajaran yang memadai.



Gambar 7. Peta Tematik Penelitian STEM Education

Analisis peta tematik memperlihatkan bahwa perkembangan STEM Education saat ini didorong oleh dua kelompok tema utama yang berfungsi sebagai *motor themes*. Kelompok pertama terdiri atas *computer science*, *educational technology*, dan *cooperative learning*, sedangkan kelompok kedua mencakup *teaching method*, *mathematics education*, dan *psychology*. Tingginya sentralitas dan densitas kedua kelompok tema tersebut menunjukkan bahwa penelitian STEM Education saat ini berkembang melalui interaksi yang kuat antara inovasi teknologi dan inovasi pedagogis. Selain tema-tema utama tersebut, *higher education*, *sociology*, dan *political science* muncul sebagai *basic themes* yang berfungsi sebagai fondasi konseptual

bidang STEM Education. Kehadiran tema-tema ini menunjukkan bahwa implementasi STEM Education tidak hanya dipengaruhi oleh praktik pembelajaran di kelas, tetapi juga oleh faktor sosial, kebijakan pendidikan, dan konteks kelembagaan yang lebih luas. Menariknya, *active learning* dan *experiential learning* muncul sebagai *emerging themes*. Posisi ini menunjukkan bahwa penelitian masa depan berpotensi semakin berfokus pada pengalaman belajar autentik, pembelajaran berbasis proyek, pembelajaran berbasis masalah, dan pendekatan yang memberikan ruang lebih besar bagi peserta didik untuk membangun pengetahuan secara mandiri. Sebaliknya, tema-tema seperti *COVID-19* dan *learner autonomy* berada pada kategori *niche themes*, yang mengindikasikan bahwa tema tersebut berkembang dalam konteks tertentu tetapi tidak lagi menjadi pusat perhatian utama setelah berakhirnya fase disrupsi pandemi.



Gambar 8. Evolusi Tematik Penelitian STEM Education Periode 2020–2025

Analisis evolusi tematik menunjukkan adanya transformasi konseptual yang cukup signifikan dalam penelitian STEM Education selama periode pengamatan. Pada fase awal (2020–2023), penelitian didominasi oleh tema-tema yang berkaitan dengan *computer science*, *engineering*, dan integrasi teknologi dalam pembelajaran. Fokus utama pada periode ini adalah bagaimana teknologi dapat digunakan untuk memperluas akses, meningkatkan efektivitas pembelajaran, serta mendukung implementasi STEM Education dalam berbagai konteks pendidikan. Namun, pada periode 2024–2025 terjadi pergeseran yang jelas menuju tema-tema seperti *pedagogy*, *curriculum*, *professional development*, dan *higher-order thinking*. Pergeseran ini menunjukkan bahwa perhatian akademik mulai beralih dari pertanyaan mengenai teknologi yang digunakan menuju pertanyaan mengenai bagaimana teknologi tersebut dapat mendukung praktik pedagogis yang lebih efektif. Dengan kata lain, penelitian STEM Education mulai bergerak dari paradigma yang berorientasi pada teknologi menuju paradigma yang berorientasi pada pembelajaran.

Transformasi tersebut mengindikasikan bahwa STEM Education telah memasuki fase kematangan konseptual. Teknologi tidak lagi diposisikan sebagai tujuan utama, melainkan sebagai instrumen untuk mendukung pengembangan kompetensi, inovasi pedagogis, dan transformasi kurikulum. Oleh karena itu, perkembangan terbaru STEM Education menunjukkan kecenderungan yang semakin kuat menuju pembelajaran yang berpusat pada peserta didik, pengembangan keterampilan berpikir tingkat tinggi, personalisasi pembelajaran, dan penguatan kapasitas guru dalam mengelola pembelajaran yang kompleks dan multidisipliner (Kelley & Knowles, 2016; Margot & Kettler, 2019; Thibaut et al., 2018). Hasil analisis struktur konseptual menunjukkan bahwa STEM Education berkembang melalui integrasi tiga pilar utama, yaitu pedagogi, teknologi, dan pengembangan kompetensi. Evolusi tema-tema penelitian juga memperlihatkan pergeseran dari fokus pada adopsi teknologi menuju transformasi praktik pembelajaran yang lebih holistik. Temuan ini menegaskan bahwa masa depan STEM Education tidak hanya ditentukan oleh kemajuan teknologi, tetapi juga oleh kemampuan sistem pendidikan dalam mengintegrasikan

teknologi tersebut ke dalam strategi pembelajaran yang mampu menghasilkan kompetensi abad ke-21 secara berkelanjutan (Kwon et al., 2021; Li et al., 2020; Martín-Páez et al., 2019; Safhi et al., 2022).

4. Sintesis Tematik dan Konseptual Penelitian STEM Education

Hasil analisis bibliometrik menunjukkan bahwa penelitian STEM Education berkembang melalui berbagai tema yang saling berhubungan. Namun, di balik keragaman topik tersebut terdapat pola konseptual yang relatif konsisten. Berdasarkan sintesis terhadap literatur dalam dataset, penelitian STEM Education selama periode 2020–2025 dapat dikelompokkan ke dalam empat tema utama, yaitu inovasi pedagogis, pembelajaran STEM berbasis teknologi, pengembangan kompetensi berpikir tingkat tinggi, serta penguatan kapasitas guru dan pengembangan profesional. Keempat tema ini tidak berkembang secara terpisah, melainkan saling melengkapi dalam membentuk ekosistem pembelajaran STEM yang lebih adaptif dan relevan terhadap kebutuhan abad ke-21.

a. Inovasi Pedagogis dalam STEM Education

Tema pertama berkaitan dengan inovasi pedagogis yang menjadi fondasi utama implementasi STEM Education. Berbagai penelitian menunjukkan bahwa keberhasilan pembelajaran STEM sangat dipengaruhi oleh kemampuan pendidik dalam merancang pengalaman belajar yang bersifat autentik, kontekstual, dan berorientasi pada pemecahan masalah. Dalam konteks ini, STEM Education tidak dipahami hanya sebagai integrasi antara sains, teknologi, teknik, dan matematika, tetapi sebagai pendekatan pembelajaran yang menempatkan peserta didik sebagai aktor utama dalam proses konstruksi pengetahuan.

Sebagian besar penelitian menekankan pentingnya pendekatan pembelajaran berbasis inkuiri (*inquiry-based learning*), pembelajaran berbasis proyek (*project-based learning*), dan pembelajaran berbasis masalah (*problem-based learning*) dalam meningkatkan keterlibatan peserta didik. Pendekatan-pendekatan tersebut memungkinkan peserta didik menghubungkan konsep teoritis dengan situasi nyata sehingga proses belajar menjadi lebih bermakna. Selain itu, model pembelajaran yang berlandaskan konstruktivisme terbukti mampu meningkatkan kemampuan berpikir kritis, kreativitas, dan kolaborasi yang menjadi tujuan utama STEM Education (Tembrevilla et al., 2024; Wahono et al., 2025). Temuan ini menunjukkan bahwa inovasi pedagogis merupakan elemen sentral dalam pengembangan STEM Education. Integrasi disiplin ilmu tidak akan menghasilkan dampak yang optimal apabila tidak didukung oleh strategi pembelajaran yang mampu mendorong partisipasi aktif dan keterlibatan intelektual peserta didik.

b. Pembelajaran STEM Berbasis Teknologi

Tema kedua berkaitan dengan pemanfaatan teknologi sebagai sarana untuk meningkatkan efektivitas pembelajaran STEM. Perkembangan teknologi digital dalam beberapa tahun terakhir telah memperluas peluang implementasi STEM Education melalui berbagai inovasi, seperti kecerdasan buatan (*artificial intelligence*), *chatbot* pendidikan, laboratorium virtual, sistem tutor cerdas, serta *learning analytics*. Hasil sintesis menunjukkan bahwa teknologi memberikan kontribusi yang signifikan dalam mendukung personalisasi pembelajaran, penyediaan umpan balik secara *real-time*, serta peningkatan akses terhadap sumber belajar yang lebih beragam (Chen et al., 2020; Zawacki-Richter et al., 2019). Teknologi juga memungkinkan peserta didik untuk melakukan eksplorasi konsep-konsep STEM secara lebih interaktif melalui simulasi, visualisasi, dan lingkungan belajar digital yang adaptif sehingga dapat meningkatkan keterlibatan belajar dan pemahaman konseptual peserta didik (Bond et al., 2021). Meskipun demikian, berbagai penelitian menegaskan bahwa keberhasilan penggunaan teknologi tidak ditentukan oleh

kecanggihan perangkat yang digunakan, melainkan oleh sejauh mana teknologi tersebut terintegrasi dengan tujuan pedagogis yang jelas. Dengan kata lain, teknologi berfungsi sebagai *enabler* yang mendukung proses pembelajaran, bukan sebagai tujuan akhir dari implementasi STEM Education. Temuan ini menjelaskan mengapa penelitian terbaru mulai bergeser dari fokus pada teknologi itu sendiri menuju bagaimana teknologi dapat digunakan untuk memperkuat proses belajar yang berpusat pada peserta didik (Howard et al., 2021; Kaliisa & Picard, 2023). Pendekatan tersebut sejalan dengan pandangan bahwa integrasi teknologi yang efektif harus didasarkan pada desain pedagogis yang mampu mendukung pengembangan keterampilan berpikir kritis, kolaborasi, dan pemecahan masalah dalam konteks STEM (Trust & Whalen, 2020).

c. Pengembangan Kompetensi Berpikir Tingkat Tinggi

Tema ketiga berfokus pada pengembangan kompetensi yang menjadi sasaran utama STEM Education. Hasil sintesis menunjukkan bahwa sebagian besar penelitian mengaitkan implementasi STEM Education dengan peningkatan kemampuan berpikir tingkat tinggi (*higher-order thinking skills*), kemampuan pemecahan masalah, kreativitas, literasi STEM, serta berpikir komputasional (*computational thinking*). Berbagai studi menunjukkan bahwa pembelajaran STEM mampu menciptakan lingkungan belajar yang menuntut peserta didik untuk menganalisis permasalahan, mengevaluasi berbagai alternatif solusi, dan merancang strategi penyelesaian yang efektif. Pendekatan ini tidak hanya meningkatkan pemahaman konseptual, tetapi juga memperkuat kemampuan peserta didik dalam menghadapi permasalahan yang kompleks dan multidisipliner. Selain itu, integrasi pendekatan rekayasa (*engineering design process*) dan berpikir komputasional semakin banyak digunakan sebagai strategi untuk mengembangkan kemampuan berpikir sistematis dan inovatif. Oleh karena itu, STEM Education tidak lagi dipandang sebagai pendekatan yang berorientasi pada penguasaan konten semata, tetapi sebagai sarana untuk membangun kompetensi yang dibutuhkan dalam masyarakat berbasis pengetahuan dan teknologi (Zollman, 2020; Dunn et al., 2021; Fuentes et al., 2023).

d. Kapasitas Guru dan Pengembangan Profesional

Tema terakhir berkaitan dengan kapasitas guru sebagai faktor kunci dalam keberhasilan implementasi STEM Education. Hasil sintesis menunjukkan bahwa berbagai tantangan implementasi STEM sering kali muncul karena keterbatasan kompetensi pedagogis, rendahnya kepercayaan diri guru dalam mengintegrasikan berbagai disiplin ilmu, serta kurangnya pengalaman dalam memanfaatkan teknologi pendidikan. Berbagai penelitian menegaskan bahwa pengembangan profesional guru merupakan prasyarat penting untuk memastikan keberlanjutan implementasi STEM Education. Program pelatihan berkelanjutan, komunitas praktik, kolaborasi antar guru, serta model *co-teaching* terbukti mampu meningkatkan kesiapan guru dalam merancang dan melaksanakan pembelajaran STEM yang efektif (Brouwer et al., 2024; Erol & Canbeldek Erol, 2024). Selain penguasaan materi dan pedagogi, guru juga dituntut untuk mampu mengelola lingkungan belajar yang mendukung kolaborasi, kreativitas, dan eksplorasi. Oleh karena itu, penguatan kapasitas guru tidak hanya berkaitan dengan peningkatan keterampilan teknis, tetapi juga dengan pengembangan pola pikir inovatif yang memungkinkan guru beradaptasi terhadap perubahan teknologi dan kebutuhan peserta didik yang terus berkembang (Wong et al., 2025).

5. Research Gaps, Future Research Agenda, and Conceptual Framework

Meskipun penelitian STEM Education menunjukkan perkembangan yang pesat selama periode 2020–2025, hasil sintesis menunjukkan bahwa masih terdapat sejumlah kesenjangan penelitian yang memerlukan perhatian lebih lanjut. Kesenjangan tersebut tidak hanya berkaitan dengan aspek empiris, tetapi juga mencakup dimensi teoretis, metodologis, kontekstual, dan praktis. Identifikasi kesenjangan ini penting untuk memahami arah perkembangan bidang STEM Education sekaligus menjadi dasar dalam merumuskan agenda penelitian masa depan yang lebih komprehensif.

a. Kesenjangan Teoretis

Hasil analisis menunjukkan bahwa sebagian besar penelitian STEM Education masih berfokus pada evaluasi implementasi program, efektivitas model pembelajaran, atau pengaruh teknologi terhadap hasil belajar. Namun, masih relatif sedikit penelitian yang berupaya membangun kerangka teoretis yang mampu menjelaskan hubungan antara pedagogi, teknologi, kompetensi peserta didik, dan hasil pembelajaran secara terpadu. Sebagian besar studi masih menggunakan teori-teori pendidikan secara parsial, seperti konstruktivisme, pembelajaran berbasis inkuiri, atau teori motivasi belajar. Akibatnya, perkembangan STEM Education cenderung menghasilkan temuan yang terfragmentasi dan sulit diintegrasikan ke dalam satu model konseptual yang utuh. Oleh karena itu, penelitian masa depan perlu mengembangkan model teoritis yang mampu menjelaskan mekanisme bagaimana integrasi pedagogi, teknologi, dan desain pembelajaran menghasilkan kompetensi STEM yang berkelanjutan.

b. Kesenjangan Metodologis

Kesenjangan kedua berkaitan dengan pendekatan metodologis yang digunakan dalam penelitian STEM Education. Hasil sintesis menunjukkan bahwa sebagian besar penelitian masih didominasi oleh desain penelitian jangka pendek, studi eksperimen sederhana, dan pendekatan survei yang berfokus pada hasil belajar sesaat. Padahal, tujuan utama STEM Education adalah membangun kompetensi jangka panjang seperti kreativitas, kemampuan berpikir kritis, literasi STEM, dan kemampuan pemecahan masalah. Kompetensi-kompetensi tersebut berkembang melalui proses yang kompleks dan memerlukan waktu yang relatif panjang. Oleh karena itu, penelitian mendatang perlu memperluas penggunaan desain longitudinal, mixed methods, serta learning analytics untuk memahami perubahan kompetensi peserta didik secara lebih komprehensif. Pemanfaatan data pembelajaran digital dan kecerdasan buatan dalam penelitian STEM Education masih relatif terbatas. Padahal, perkembangan teknologi memberikan peluang untuk menghasilkan bukti empiris yang lebih kaya dan akurat mengenai proses belajar peserta didik.

c. Kesenjangan Kontekstual dan Geografis

Analisis bibliometrik menunjukkan bahwa penelitian STEM Education masih didominasi oleh negara-negara maju, terutama Amerika Serikat, Tiongkok, dan beberapa negara Eropa. Sebaliknya, kontribusi negara berkembang masih relatif terbatas baik dari segi jumlah publikasi maupun pengembangan teori. Kondisi ini menimbulkan pertanyaan mengenai sejauh mana model, strategi, dan kebijakan STEM Education yang dikembangkan di negara maju dapat diterapkan secara efektif pada konteks pendidikan yang berbeda. Faktor seperti infrastruktur teknologi, kesiapan guru, budaya belajar, kebijakan pendidikan, dan kondisi sosial ekonomi berpotensi memengaruhi keberhasilan implementasi STEM Education. Oleh karena itu, penelitian di masa depan perlu memberikan perhatian yang lebih besar pada konteks negara berkembang, wilayah pedesaan, kelompok rentan, serta lingkungan pendidikan dengan keterbatasan

sumber daya. Pendekatan tersebut penting untuk memastikan bahwa pengembangan STEM Education tidak hanya relevan bagi negara maju, tetapi juga mampu menjawab kebutuhan pendidikan global secara lebih inklusif.

d. Kesenjangan Integrasi Teknologi dan Kecerdasan Buatan

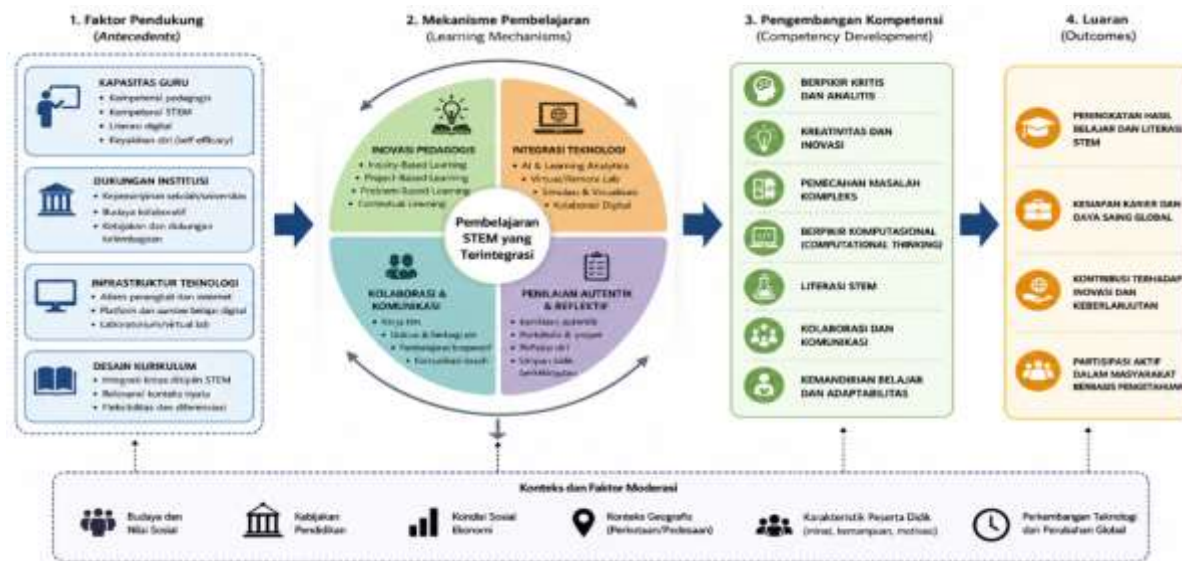
Salah satu temuan penting dalam penelitian ini adalah meningkatnya perhatian terhadap pemanfaatan kecerdasan buatan dalam pembelajaran STEM. Meskipun berbagai studi menunjukkan potensi AI dalam mendukung personalisasi pembelajaran, pemberian umpan balik otomatis, dan analisis proses belajar, bukti empiris mengenai dampak jangka panjang penggunaan AI dalam STEM Education masih terbatas. Sebagian besar penelitian saat ini masih berfokus pada implementasi teknologi atau pengujian sistem tertentu. Sementara itu, aspek yang berkaitan dengan etika penggunaan AI, kualitas interaksi manusia dan mesin, privasi data peserta didik, serta dampaknya terhadap proses berpikir kritis masih relatif jarang dibahas. Dengan semakin berkembangnya teknologi generatif seperti ChatGPT dan berbagai sistem AI pendidikan lainnya, penelitian masa depan perlu mengkaji bagaimana kecerdasan buatan dapat diintegrasikan secara efektif tanpa mengurangi peran guru dan kualitas proses pembelajaran.

e. Kesenjangan dalam Pengembangan Profesional Guru

Hasil sintesis juga menunjukkan bahwa guru merupakan faktor yang sangat menentukan keberhasilan implementasi STEM Education. Namun demikian, sebagian besar penelitian masih berfokus pada pengukuran sikap, persepsi, atau tingkat kesiapan guru terhadap STEM Education. Masih sedikit penelitian yang secara mendalam mengkaji bagaimana proses pengembangan profesional guru berlangsung dalam jangka panjang dan bagaimana pengembangan tersebut memengaruhi kualitas pembelajaran di kelas. Selain itu, masih terbatas penelitian yang mengintegrasikan kompetensi pedagogis, kompetensi teknologi, dan kompetensi STEM dalam satu kerangka pengembangan profesional yang utuh. Oleh karena itu, penelitian masa depan perlu mengembangkan model pengembangan profesional yang lebih berkelanjutan, kolaboratif, dan berbasis kebutuhan nyata guru dalam menghadapi transformasi pendidikan berbasis teknologi.

f. Agenda Penelitian Masa Depan

Berdasarkan berbagai kesenjangan yang telah diidentifikasi, terdapat lima agenda penelitian yang dapat menjadi prioritas dalam pengembangan STEM Education pada dekade mendatang. Pertama, pengembangan model konseptual terpadu yang mampu menjelaskan hubungan antara pedagogi, teknologi, lingkungan belajar, dan pengembangan kompetensi peserta didik. Kedua, peningkatan penggunaan desain penelitian longitudinal dan mixed methods untuk memahami dampak jangka panjang implementasi STEM Education. Ketiga, perluasan penelitian pada konteks negara berkembang dan kelompok yang kurang terwakili dalam literatur. Keempat, eksplorasi pemanfaatan kecerdasan buatan dan learning analytics untuk mendukung pembelajaran yang lebih personal dan adaptif. Kelima, pengembangan model pengembangan profesional guru yang mampu mengintegrasikan kompetensi STEM, pedagogi, dan teknologi secara simultan.



Gambar 9. Framework Konseptual STEM Education Berdasarkan Hasil Bibliometric-Systematic Literature Review

Berdasarkan hasil sintesis bibliometrik dan tematik, penelitian ini mengusulkan sebuah framework konseptual yang menjelaskan bagaimana STEM Education menghasilkan kompetensi abad ke-21. Framework tersebut terdiri atas empat komponen utama. Komponen pertama adalah faktor pendukung (*antecedents*) yang mencakup kesiapan guru, dukungan institusi, infrastruktur teknologi, dan desain kurikulum. Komponen kedua adalah mekanisme pembelajaran yang terdiri atas inovasi pedagogis, pembelajaran berbasis proyek, pembelajaran berbasis inkuiri, dan integrasi teknologi pendidikan. Komponen ketiga adalah pengembangan kompetensi yang mencakup berpikir kritis, kreativitas, pemecahan masalah, literasi STEM, dan berpikir komputasional. Komponen terakhir adalah luaran yang meliputi peningkatan hasil belajar, kesiapan kerja, kemampuan inovasi, dan kontribusi terhadap pembangunan berkelanjutan. Framework ini menunjukkan bahwa keberhasilan STEM Education tidak ditentukan oleh teknologi atau kurikulum secara terpisah, tetapi oleh interaksi yang sinergis antara pedagogi, teknologi, kapasitas guru, dan pengembangan kompetensi peserta didik. Dengan demikian, masa depan STEM Education perlu diarahkan pada pengembangan ekosistem pembelajaran yang mampu mengintegrasikan seluruh komponen tersebut secara berkelanjutan.

KESIMPULAN

Penelitian ini menganalisis perkembangan dan struktur pengetahuan STEM Education melalui pendekatan Bibliometric-Systematic Literature Review (BSLR) terhadap 180 publikasi yang terindeks dalam OpenAlex selama periode 2020–2025. Hasil penelitian menunjukkan bahwa STEM Education mengalami pertumbuhan yang konsisten dan semakin berkembang sebagai bidang penelitian multidisipliner yang menghubungkan pedagogi, teknologi, rekayasa, dan pengembangan kompetensi abad ke-21. Dominasi kontribusi negara-negara seperti Amerika Serikat, China, dan beberapa negara berkembang mengindikasikan meningkatnya perhatian global terhadap peran STEM Education dalam menjawab tantangan transformasi pendidikan dan kebutuhan tenaga kerja masa depan. Analisis struktur

konseptual mengungkapkan bahwa penelitian STEM Education saat ini berpusat pada tema-tema utama yang berkaitan dengan *teaching methods*, *educational technology*, *computer science*, *mathematics education*, dan *higher-order thinking skills*. Sementara itu, sintesis sistematis menunjukkan bahwa perkembangan bidang ini dibangun oleh empat dimensi utama, yaitu inovasi pedagogis, integrasi teknologi dalam pembelajaran, pengembangan kompetensi berpikir tingkat tinggi, serta penguatan kapasitas dan profesionalisme guru. Temuan tersebut menegaskan bahwa efektivitas STEM Education tidak hanya ditentukan oleh integrasi disiplin ilmu, tetapi juga oleh kualitas desain pembelajaran, dukungan teknologi, dan kesiapan pendidik dalam mengelola proses pembelajaran yang berpusat pada peserta didik.

Secara teoretis, penelitian ini berkontribusi dengan mengintegrasikan hasil bibliometrik dan sintesis literatur untuk menghasilkan pemahaman yang lebih komprehensif mengenai evolusi, struktur, dan arah perkembangan STEM Education. Secara praktis, hasil penelitian memberikan dasar bagi pengambil kebijakan, institusi pendidikan, dan praktisi untuk merancang strategi implementasi STEM yang lebih adaptif terhadap perkembangan teknologi dan kebutuhan kompetensi masa depan. Penelitian ini memiliki keterbatasan karena hanya menggunakan satu basis data, yaitu OpenAlex, sehingga kemungkinan terdapat publikasi relevan yang tidak teridentifikasi. Oleh karena itu, penelitian selanjutnya disarankan untuk mengintegrasikan berbagai basis data internasional, memperluas periode analisis, serta mengeksplorasi lebih lanjut peran kecerdasan buatan, *learning analytics*, dan pengembangan profesional guru dalam mendukung keberlanjutan implementasi STEM Education. Dengan demikian, penelitian masa depan diharapkan mampu memperkaya pengembangan teori dan praktik STEM Education yang lebih inklusif, inovatif, dan berorientasi pada kebutuhan abad ke-21.

DAFTAR PUSTAKA

- Aria, M., & Cuccurullo, C. (2017). bibliometrix: An R-tool for comprehensive science mapping analysis. *J. Informetrics*, 11, 959–975. <https://doi.org/10.1016/J.JOI.2017.08.007>
- Bond, M., Bedenlier, S., Marín, V. I., & Händel, M. (2021). Emergency remote teaching in higher education: Mapping the first global online semester. *International Journal of Educational Technology in Higher Education*, 18(50). <https://doi.org/10.1186/s41239-021-00282-x>
- Brouwer, N., Niemelä, M., Maciejowska, I., Grecea, Ș., Tarallo, O., & Russo, V. (2024). Ambassadors of professional development in teaching and learning in {STEM} higher education. *Chemistry Teacher International*, 6(3), 201–216. <https://doi.org/10.1515/cti-2024-0026>
- Bunjamin, M. A. H., Talib, C. A., Ahmad, N. J., Ibrahim, N. H., & Surif, J. (2020). Current Teaching Practice of Physics Teachers and Implications for Integrated Stem Education. *Universal Journal of Educational Research*, 8(5A), 18–28. <https://doi.org/10.13189/ujer.2020.081903>
- Chen, L., Chen, P., & Lin, Z. (2020). Artificial intelligence in education: A review. *IEEE Access*, 8, 75264–75278. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.2988510>
- 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>
- Erol, A. (2024). Failure analysis and continual improvement in the engineering design process: Teacher roles in children's problem-solving processes. *Education and Information Technologies*. <https://doi.org/10.1007/s10639-024-12489-2>
- Erol, A., & Canbeldek Erol, M. (2024). The Relationship Between Attitude Towards {STEM} Education, Self-Efficacy in {STEM} Education, and Constructivist Beliefs of Early Childhood Teachers. *Journal for STEM Education Research*, 7(1), 12–28. <https://doi.org/10.1007/s41979-023-00111-y>
- Haag, K., Pickett, S. B., Trujillo, G., & Andrews, T. C. (2023). Co-teaching in Undergraduate {STEM}

- Education: A Lever for Pedagogical Change toward Evidence-Based Teaching? *CBE---Life Sciences Education*, 22(1). <https://doi.org/10.1187/cbe.22-08-0169>
- Howard, S. K., Tondeur, J., Ma, J., & Yang, J. (2021). What to teach? Strategies for developing digital competency in preservice teacher training. *Computers & Education*, 165, 104149. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2021.104149>
- Hu, X., Li, W., Geng, X., & Zhao, L. (2024). Exploring the effects of different interventions of the problem-oriented teaching model on students' creativity in {STEM} education. *Research in Science & Technological Education*, 42(4), 1230–1249. <https://doi.org/10.1080/02635143.2023.2219622>
- Huang, P.-H. L., Lee, H.-Y., Lin, C.-J., Wang, W.-S., & Min, Y. (2024). *INQUIRYGPT: AUGMENTING CHATGPT FOR ENHANCING INQUIRY-BASED LEARNING IN STEM EDUCATION*. <https://doi.org/10.1177/07356331241289824>
- Kaliisa, R., & Picard, M. (2023). A systematic review on mobile learning in higher education: The African perspective. *Turkish Online Journal of Educational Technology*, 22(1), 1–18.
- Kareem, J., Thomas, R. S., & Nandini, V. S. (2022). A Conceptual Model of Teaching Efficacy and Beliefs, Teaching Outcome Expectancy, Student Technology Use, Student Engagement, and 21st-Century Learning Attitudes: A {STEM} Education Study. *Interdisciplinary Journal of Environmental and Science Education*, 18(4), e2282. <https://doi.org/10.21601/ijese/12025>
- Kelley, T. R., & Knowles, J. G. (2016). A conceptual framework for integrated STEM education. *International Journal of STEM Education*, 3(11). <https://doi.org/10.1186/s40594-016-0046-z>
- Kwon, H., Capraro, R. M., & Capraro, M. M. (2021). Research trends in STEM education from 2011 to 2020: A systematic review. *International Journal of STEM Education*, 8(1). <https://doi.org/10.1186/s40594-021-00317-9>
- Li, Y., Wang, K., Xiao, Y., & Froyd, J. E. (2020). Research and trends in STEM education: A systematic review of journal publications. *International Journal of STEM Education*, 7(11). <https://doi.org/10.1186/s40594-020-00207-6>
- Margot, K. C., & Kettler, T. (2019). Teachers' perception of STEM integration and education: A systematic literature review. *International Journal of STEM Education*, 6(2). <https://doi.org/10.1186/s40594-018-0151-2>
- Martín-Páez, T., Aguilera, D., Perales-Palacios, F. J., & Vílchez-González, J. M. (2019). What are we talking about when we talk about STEM education? A review of literature. *Science Education*, 103(4), 799–822. <https://doi.org/10.1002/sce.21522>
- 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. *El Profesional de La Información*, 29(1). <https://doi.org/10.3145/epi.2020.ene.03>
- Paul, J., & Criado, A. R. (2020). The art of writing literature review: What do we know and what do we need to know? *International Business Review*, 29(4), 101717. <https://doi.org/10.1016/j.ibusrev.2020.101717>
- Safhi, F. A., ALshamrani, S. M., Jalal, A. S., Awad, N. S., Sabit, H., Abdelgawad, F. E., Khalil, S. S., Khodeer, D. M., & Mobasher, M. A. (2022). Asian Pigeonwing Plants (*Clitoria ternatea*) Synergized Mesenchymal Stem Cells by Modulating the Inflammatory Response in Rats with Cisplatin-Induced Acute Kidney Injury. *Pharmaceuticals*, 15(11), 1396. <https://doi.org/10.3390/ph15111396>
- Snyder, H. (2019). Literature review as a research methodology: An overview and guidelines. *Journal of Business Research*, 104, 333–339. <https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2019.07.039>
- Suh, E. K., Hoffman, L., & Zollman, A. (2020). {STEM} Inclusion Research for English Language Learners (ELLs). In *Handbook of Research on STEM Education* (pp. 311–322). Routledge. <https://doi.org/10.4324/9780429021381-29>
- Tang, D., Li, M., & Crowther, D. T. (2023). What matters? A case study of elementary english language learners in {STEM} education. *Research in Science & Technological Education*, 41(3), 819–837. <https://doi.org/10.1080/02635143.2021.1959308>

- Tembrevilla, G., Toma, M. J., & Milner-Bolotin, M. (2024). Enhancing {STEM} Education: Integrating Collaborative Technologies in Micro-Teaching for Pre-service Teachers. *2024 ASEE Annual Conference & Exposition Proceedings*. <https://doi.org/10.18260/1-2--47315>
- Thibaut, L., Ceuppens, S., De Loof, H., De Meester, J., Goovaerts, L., Struyf, A., & Depaepe, F. (2018). Integrated STEM education: A systematic review of instructional practices. *European Journal of STEM Education*, 3(1), 2. <https://doi.org/10.20897/ejsteme/85525>
- Triplett, W. J. (2023). Artificial Intelligence in {STEM} Education. *Cybersecurity and Innovative Technology Journal*, 1(1), 23–29. <https://doi.org/10.53889/citj.v1i1.296>
- Trust, T., & Whalen, J. (2020). Should teachers be trained in emergency remote teaching? Lessons learned from the COVID-19 pandemic. *Journal of Technology and Teacher Education*, 28(2), 189–199.
- Villegas-Ch, W., Buenano-Fernandez, D., Navarro, A. M., & Mera-Navarrete, A. (2025). Adaptive intelligent tutoring systems for {STEM} education: analysis of the learning impact and effectiveness of personalized feedback. *Smart Learning Environments*, 12(1). <https://doi.org/10.1186/s40561-025-00389-y>
- Wahono, B., Hariyadi, S., Subiantoro, A. W., Bravo, J. A. M., & Manalu, M. S. (2025). Empowering {STEM} teachers with {TPACK}: Insights from the {DECODE} online professional development program. *Eurasia Journal of Mathematics, Science and Technology Education*, 21(1), em2570. <https://doi.org/10.29333/ejmste/15896>
- Zawacki-Richter, O., Marín, V. I., Bond, M., & Gouverneur, F. (2019). Systematic review of research on artificial intelligence applications in higher education. *International Journal of Educational Technology in Higher Education*, 16(39). <https://doi.org/10.1186/s41239-019-0171-0>
- Zupic, I., & Čater, T. (2015). Bibliometric Methods in Management and Organization. *Organizational Research Methods*, 18, 429–472. <https://doi.org/10.1177/1094428114562629>