Education, Social Sciences, and Linguistics: Conference Series
https://journal.ummat.ac.id/index.php/ecs
Vol. 2 No. 2, June 2026, pp. 51-70

Pemetaan Arah Riset Pendidikan Matematika Berbasis Teknologi, STEAM, dan Pengembangan Perangkat Pembelajaran Menggunakan Analisis Bibliometrik

Ahyansyah[1], Sukma Mawaddah[2], Andang[3]
[1,2,3]Prodi Pendidikan Guru Sekolah Dasar, Universitas Nggusuwaru, Indonesia
[1]ahyansyah@unswa.ac.id, [2]sukma.mawaddah@unswa.ac.id, [3]andangunswa@gmail.com

***Keywords*:**
Mathematics Education,
Instructional Materials,
STEAM,
Educational Technology,
Vosviewer.

ABSTRACT

Abstract: *The rapid advancement of digital technology and the growing implementation of the STEAM approach have accelerated innovation in mathematics education. However, a comprehensive mapping of research trends in technology integration, STEAM, and instructional materials development remains limited. This study aimed to map publication trends, thematic structures, collaboration patterns, and research developments in technology-based mathematics education, STEAM, and instructional materials development during the 2016–2025 period. This research employed a Systematic Literature Review (SLR) integrated with bibliometric analysis. Data were collected from scholarly articles indexed in Google Scholar, the Directory of Open Access Journals (DOAJ), and Scopus. The literature was selected using the PRISMA protocol and analyzed with VOSviewer through co-occurrence, co-authorship, overlay, and density visualizations. The findings revealed that educational technology, STEAM, and instructional materials development constitute the three dominant and interconnected research themes, with mathematics, education, technology, and assessment serving as the central keywords. Overlay visualization indicated a shift from research emphasizing instructional materials development through Research and Development (R&D) toward experimental studies evaluating the effectiveness of instructional innovations and the integration of digital technology, culture, and environmental contexts. The study concludes that mathematics education research is evolving toward more collaborative, multidisciplinary, and evidence-based approaches. These findings provide a conceptual foundation and future research agenda for researchers, educators, curriculum developers, and policymakers to promote innovative mathematics learning in the era of digital transformation and Society 5.0.*

Kata Kunci:

Perangkat Pembelajaran,
STEAM,
Teknologi Pembelajaran,
Vosviewer.

Abstrak: Transformasi digital dan implementasi pendekatan STEAM mendorong berkembangnya inovasi pembelajaran matematika, namun hingga kini belum tersedia pemetaan komprehensif mengenai arah perkembangan riset pada bidang tersebut. Penelitian ini bertujuan memetakan tren publikasi, struktur tema, pola kolaborasi, dan perkembangan penelitian pendidikan matematika berbasis teknologi, STEAM, serta pengembangan perangkat pembelajaran selama periode 2016–2025. Penelitian menggunakan *metode Systematic Literature Review (SLR)* yang dipadukan dengan analisis bibliometrik. Data diperoleh dari artikel yang terindeks Google Scholar, DOAJ, dan Scopus, kemudian diseleksi menggunakan protokol PRISMA dan dianalisis menggunakan perangkat lunak VOSviewer melalui visualisasi *co-occurrence*, *co-authorship*, *overlay*, dan *density*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa tema teknologi pembelajaran, STEAM, dan pengembangan perangkat pembelajaran membentuk klaster utama yang saling terhubung, dengan *mathematics*, *education*, *technology*, dan *assessment* sebagai kata kunci dominan. Visualisasi overlay mengindikasikan pergeseran penelitian dari pengembangan perangkat berbasis *Research and Development* menuju pengujian efektivitas inovasi pembelajaran serta integrasi teknologi digital, budaya, dan lingkungan. Penelitian ini menyimpulkan bahwa arah riset pendidikan matematika berkembang menuju pendekatan yang lebih kolaboratif, multidisipliner, dan berbasis bukti. Temuan ini memberikan dasar konseptual dan rekomendasi agenda penelitian bagi peneliti, pendidik, pengembang kurikulum, dan pembuat kebijakan dalam mengembangkan inovasi pembelajaran matematika pada era Society 5.0.

Article History:
Received : 01-06-2026
Accepted : 30-07-2026

This is an open access article under the CC–BY-SA license

A. LATAR BELAKANG

Perkembangan teknologi digital telah mendorong terjadinya transformasi yang signifikan dalam pendidikan matematika, baik dari aspek pedagogis, kurikulum, maupun pengembangan kompetensi peserta didik. Pendidikan matematika tidak lagi dipandang hanya sebagai proses transfer konsep dan prosedur matematis, tetapi sebagai wahana untuk membangun kemampuan berpikir kritis, pemecahan masalah, kreativitas, komunikasi, kolaborasi, dan literasi digital yang menjadi kompetensi utama abad ke-21. Dalam konteks tersebut, teknologi berfungsi sebagai instrumen pedagogis yang memungkinkan pembelajaran berlangsung secara lebih interaktif, adaptif, personal, dan berbasis data melalui pemanfaatan *Learning Management System* (LMS), perangkat lunak matematika dinamis, kecerdasan buatan (*Artificial Intelligence*), *Augmented Reality* (AR), serta berbagai platform pembelajaran digital. Sejalan dengan perkembangan tersebut, pendekatan STEAM (Science, Technology, Engineering, Arts, and Mathematics) semakin mendapat perhatian karena mampu mengintegrasikan berbagai disiplin ilmu dalam pembelajaran yang kontekstual dan berorientasi pada penyelesaian masalah nyata. Pendekatan STEAM diyakini mampu meningkatkan kemampuan berpikir komputasional, kreativitas, inovasi, serta keterampilan kolaboratif peserta didik melalui aktivitas pembelajaran yang bersifat multidisipliner. Hwang dan Tu (2021) menjelaskan bahwa perkembangan kecerdasan buatan telah mengubah arah penelitian pendidikan matematika menuju pembelajaran yang adaptif dan personal melalui analisis data belajar peserta didik, sementara Marín-Marín et al. (2021) menunjukkan bahwa penelitian STEAM berkembang pesat sebagai paradigma baru yang menghubungkan sains, teknologi, rekayasa, seni, dan matematika untuk menghasilkan pembelajaran yang lebih bermakna dan relevan dengan kebutuhan masyarakat digital. Lebih lanjut, Karampelas (2023) menegaskan bahwa keterkaitan antara Technological Pedagogical Content Knowledge (TPACK) dan STEAM menjadi fondasi penting dalam meningkatkan kompetensi profesional guru dalam merancang pembelajaran matematika berbasis teknologi. Dengan demikian, integrasi teknologi dan STEAM tidak hanya menjadi inovasi pembelajaran, tetapi juga menjadi arah utama transformasi pendidikan matematika pada era digital.

Perkembangan tersebut diikuti oleh meningkatnya penelitian mengenai pengembangan perangkat pembelajaran sebagai strategi implementasi inovasi dalam pendidikan matematika. Perangkat pembelajaran yang meliputi modul, e-modul, Lembar Kerja Peserta Didik (LKPD), e-LKPD, media pembelajaran interaktif, instrumen asesmen digital, dan perangkat evaluasi dikembangkan untuk mendukung implementasi teknologi dan pendekatan STEAM secara sistematis dalam proses pembelajaran. Bersamaan dengan itu, perkembangan jumlah publikasi yang semakin pesat menyebabkan bidang pendidikan matematika menjadi semakin kompleks sehingga diperlukan metode yang mampu memetakan struktur keilmuan, hubungan antartema, serta evolusi penelitian secara objektif. Dalam konteks ini, analisis bibliometrik merupakan pendekatan yang banyak digunakan untuk mengidentifikasi tren publikasi, produktivitas peneliti, pola kolaborasi, jaringan sitasi, serta hubungan antarkata kunci menggunakan perangkat lunak seperti VOSviewer, Bibliometrix, maupun CiteSpace. Kajian bibliometrik terbaru menunjukkan bahwa penelitian mengenai pendidikan matematika berbasis teknologi mengalami peningkatan yang konsisten dengan munculnya tema-tema baru seperti *computational thinking*, *artificial intelligence*, *learning analytics*, *technology-enhanced mathematics education*, dan asesmen digital. Yohannes dan Chen (2025) melalui analisis terhadap 726 artikel menunjukkan bahwa tema penelitian berkembang dari pemanfaatan teknologi sebagai media pembelajaran menuju pengembangan lingkungan belajar interaktif dan *computational thinking*. Sementara itu, Huda et al. (2025) memetakan 168 artikel STEAM yang memenuhi kriteria PRISMA dan menemukan lima klaster utama, yaitu pengembangan media, validasi perangkat pembelajaran, pengukuran hasil belajar, asesmen, dan keterlibatan digital peserta didik. Temuan tersebut memperlihatkan bahwa analisis bibliometrik mampu memberikan gambaran yang komprehensif mengenai arah perkembangan penelitian sekaligus mengidentifikasi peluang penelitian baru yang belum banyak dieksplorasi. Oleh karena itu, pemetaan bibliometrik menjadi pendekatan

yang strategis untuk memahami dinamika riset pendidikan matematika berbasis teknologi, STEAM, dan pengembangan perangkat pembelajaran sebagai dasar dalam merumuskan agenda penelitian pada masa mendatang.

Hasil-hasil penelitian yang dipublikasikan selama periode 2021–2025 menunjukkan bahwa riset pendidikan matematika mengalami perkembangan yang sangat pesat, terutama pada integrasi teknologi, pendekatan STEAM, dan pengembangan perangkat pembelajaran. Berbagai kajian bibliometrik dan *systematic literature review* mengungkapkan bahwa peningkatan jumlah publikasi diikuti oleh perluasan tema penelitian dari pengembangan media pembelajaran menuju transformasi pedagogi digital, *computational thinking*, *artificial intelligence* (AI), *learning analytics*, serta asesmen autentik. Sebagai contoh, Nurazmi et al. (2025) menganalisis 1.097 artikel terindeks Scopus periode 2016–2025 dan menemukan bahwa publikasi STEAM meningkat secara signifikan sejak 2019 dengan tema-tema baru seperti *digital transformation*, *maker education*, *computational thinking*, dan *sustainability*, disertai kolaborasi internasional yang semakin luas. Hasil serupa dilaporkan oleh Huda et al. (2025) yang melakukan sintesis terhadap 1.375 dokumen dari Google Scholar, Scopus, dan Crossref, kemudian melalui proses PRISMA diperoleh 168 artikel yang memenuhi kriteria inklusi. Penelitian tersebut mengidentifikasi lima klaster utama, yaitu pengembangan media pembelajaran, validasi perangkat, pengukuran hasil belajar, asesmen, dan keterlibatan digital peserta didik, serta menunjukkan bahwa penelitian kuantitatif masih mendominasi, meskipun asesmen formatif dan pengukuran *Higher Order Thinking Skills* (HOTS) mulai meningkat. Selain itu, Tupamahu et al. (2025) melalui analisis bibliometrik terhadap 535 artikel Scopus menemukan empat klaster besar yang berkaitan dengan pengembangan keterampilan abad ke-21, implementasi STEAM dalam berbagai bidang, penggunaan teknologi seperti *Augmented Reality* (AR) dan *Virtual Reality* (VR), serta inovasi perangkat pembelajaran berbasis teknologi. Temuan-temuan tersebut menunjukkan bahwa penelitian pendidikan matematika telah bergeser dari orientasi pengembangan perangkat menuju integrasi teknologi yang lebih komprehensif dan multidisipliner.

Perkembangan tersebut juga tercermin pada meningkatnya penelitian yang mengintegrasikan teknologi digital ke dalam pembelajaran matematika melalui pendekatan bibliometrik maupun *systematic review*. Hwang dan Tu (2021) menunjukkan bahwa pemanfaatan AI dalam pendidikan matematika berkembang dari sekadar sistem tutor cerdas menuju sistem pembelajaran adaptif yang mampu mendiagnosis kesulitan belajar dan memberikan umpan balik secara personal kepada peserta didik. Di sisi lain, Zakaria et al. (2025) memetakan perkembangan pedagogi digital dalam pendidikan matematika melalui analisis bibliometrik dan menemukan bahwa tema-tema seperti *digital pedagogies*, *technology-enhanced learning*, *online mathematics learning*, dan *interactive learning environments* menjadi pusat perkembangan penelitian mutakhir. Penelitian Munif dan Subali (2025) yang menyeleksi 16 artikel dari 409 publikasi menunjukkan bahwa media pembelajaran interaktif berbasis STEAM secara konsisten memiliki tingkat validitas, kepraktisan, dan efektivitas yang tinggi dalam meningkatkan pemahaman konsep, kreativitas, motivasi belajar, serta keterlibatan peserta didik. Selain itu, Sukmawati et al. (2025) melalui analisis terhadap 714 dokumen dan seleksi 75 artikel berdasarkan protokol PRISMA menemukan bahwa integrasi *Discovery Learning* dan STEAM secara signifikan memperkuat kemampuan berpikir kritis melalui pembelajaran berbasis inkuiri, pemecahan masalah, dan regulasi metakognitif. Secara keseluruhan, sintesis hasil-hasil penelitian tersebut memperlihatkan bahwa teknologi, STEAM, dan pengembangan perangkat pembelajaran telah berkembang menjadi tiga pilar utama dalam pendidikan matematika modern yang saling terhubung melalui inovasi pedagogi, transformasi digital, dan penguatan kompetensi abad ke-21.

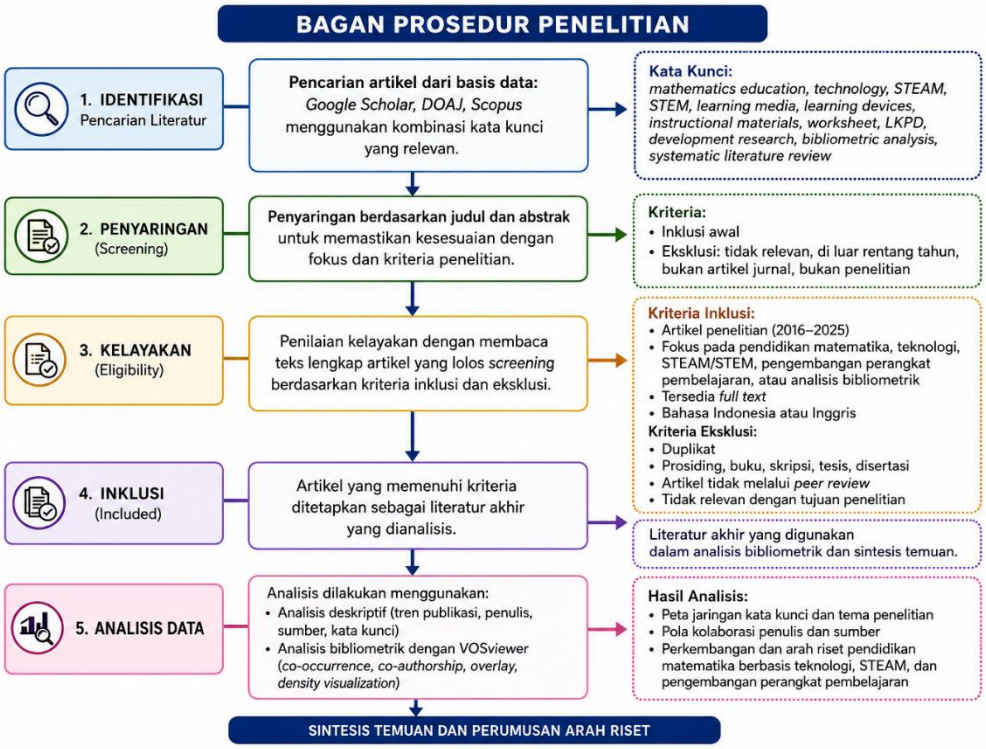
Sintesis berbagai penelitian periode 2021–2025 menunjukkan bahwa penelitian pendidikan matematika berbasis teknologi, STEAM, dan pengembangan perangkat pembelajaran mengalami pertumbuhan yang sangat pesat, baik dari sisi kuantitas publikasi maupun keragaman tema penelitian. Kajian bibliometrik terhadap 1.097 artikel Scopus memperlihatkan bahwa fokus penelitian berkembang dari implementasi STEAM konvensional menuju integrasi *computational thinking*, *digital transformation*, dan *sustainability*, sementara kajian lain terhadap 726 artikel *Technology-Enhanced Mathematics Education* (TEME) menunjukkan adanya pergeseran tema dari penggunaan teknologi sebagai media pembelajaran menuju pengembangan lingkungan belajar interaktif, *learning analytics*, dan kecerdasan buatan dalam pembelajaran matematika. Selain itu, beberapa *systematic literature review* menunjukkan bahwa penelitian masih didominasi oleh evaluasi efektivitas media pembelajaran, model STEAM, maupun integrasi teknologi pada konteks tertentu, sedangkan penelitian yang menghubungkan ketiga bidang tersebut dalam satu kerangka konseptual masih relatif terbatas.

Berdasarkan kondisi tersebut, terdapat research gap yang cukup jelas, yaitu belum banyak penelitian yang memetakan secara komprehensif hubungan intelektual antara tema teknologi**,** STEAM**,** dan pengembangan perangkat pembelajaran melalui pendekatan bibliometrik yang mengintegrasikan analisis produktivitas publikasi, jaringan kolaborasi penulis, ko-okurensi kata kunci, serta evolusi tema penelitian. Sebagian besar penelitian bibliometrik sebelumnya masih berfokus pada satu tema spesifik, misalnya hanya STEAM, hanya teknologi pendidikan matematika, atau hanya *computational thinking*, sehingga belum mampu menggambarkan struktur pengetahuan (*knowledge structure*) pendidikan matematika secara utuh. Oleh karena itu, novelty penelitian ini terletak pada penyusunan pemetaan bibliometrik yang mengintegrasikan ketiga domain tersebut untuk mengidentifikasi perkembangan tren publikasi, keterhubungan antarkata kunci, pola kolaborasi ilmiah, dan arah perkembangan penelitian masa depan secara lebih komprehensif. Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi teoretis dalam memperkaya peta perkembangan keilmuan pendidikan matematika sekaligus menjadi dasar bagi peneliti dalam menentukan fokus riset yang lebih relevan terhadap transformasi pendidikan abad ke-21.

Berdasarkan kesenjangan penelitian tersebut, penelitian ini bertujuan untuk memetakan arah perkembangan riset pendidikan matematika berbasis teknologi, STEAM, dan pengembangan perangkat pembelajaran menggunakan analisis bibliometrik**,** mengidentifikasi tren publikasi, produktivitas penulis dan sumber publikasi, pola kolaborasi ilmiah, struktur jaringan kata kunci, serta evolusi tema penelitian selama periode 2016–2025. Selain itu, penelitian ini bertujuan mengungkap hubungan konseptual antara teknologi, STEAM, dan pengembangan perangkat pembelajaran sebagai fondasi pengembangan inovasi pembelajaran matematika yang adaptif terhadap perkembangan teknologi digital. Melalui pemanfaatan analisis bibliometrik menggunakan VOSviewer, penelitian ini diharapkan mampu menghasilkan gambaran objektif mengenai perkembangan bidang kajian, mengidentifikasi tema-tema yang telah mapan maupun tema yang masih jarang diteliti (*emerging topics*), serta merumuskan rekomendasi agenda penelitian di masa mendatang. Secara teoretis, hasil penelitian ini diharapkan memperkaya literatur mengenai dinamika perkembangan pendidikan matematika dan memberikan kerangka konseptual mengenai keterkaitan teknologi, STEAM, dan pengembangan perangkat pembelajaran. Secara praktis, temuan penelitian diharapkan menjadi referensi bagi peneliti, dosen, guru, pengembang kurikulum, serta pengambil kebijakan pendidikan dalam merancang inovasi pembelajaran dan menentukan prioritas penelitian yang berbasis bukti (*evidence-based research*), sehingga mampu mendukung peningkatan kualitas pendidikan matematika pada era transformasi digital dan Society 5.0.

B. METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan metode Systematic Literature Review (SLR) yang dipadukan dengan analisis bibliometrik untuk mengidentifikasi, memetakan, dan menganalisis perkembangan arah riset pendidikan matematika berbasis teknologi, STEAM, dan pengembangan perangkat pembelajaran. Pendekatan SLR dipilih karena memungkinkan proses identifikasi, seleksi, evaluasi, dan sintesis literatur dilakukan secara sistematis, transparan, dan dapat direplikasi, sedangkan analisis bibliometrik digunakan untuk memvisualisasikan hubungan antarkata kunci, pola kolaborasi, serta perkembangan tema penelitian menggunakan perangkat lunak VOSviewer. Penelitian ini bertujuan untuk (1) memetakan tren publikasi dan perkembangan penelitian pendidikan matematika berbasis teknologi, STEAM, dan pengembangan perangkat pembelajaran, (2) mengidentifikasi hubungan antartema penelitian melalui analisis jaringan bibliometrik, serta (3) merumuskan arah pengembangan penelitian pendidikan matematika pada masa mendatang berdasarkan hasil sintesis literatur. Sumber data penelitian diperoleh dari artikel ilmiah yang dipublikasikan pada basis data Google Scholar, Directory of Open Access Journals (DOAJ), dan Scopus.



Gambar 1. Bagan Prosedur Penelitian

Proses penelusuran literatur dilakukan secara sistematis menggunakan kombinasi kata kunci seperti *mathematics education*, *technology*, *STEAM*, *STEM*, *learning media*, *instructional materials*, *learning devices*, *worksheet*, *LKPD*, *bibliometric analysis*, *systematic literature review*, dan istilah lain yang relevan dengan tujuan penelitian. Kriteria inklusi meliputi: (1) artikel penelitian yang dipublikasikan pada rentang 2016–2025; (2) artikel yang membahas pendidikan matematika, teknologi pembelajaran, STEAM/STEM, pengembangan perangkat pembelajaran, atau analisis bibliometrik; (3) artikel yang dipublikasikan dalam jurnal ilmiah bereputasi dan tersedia dalam teks lengkap (*full text*); serta (4) artikel yang ditulis dalam bahasa Indonesia atau bahasa Inggris. Sementara itu, kriteria eksklusi mencakup prosiding, buku, bab buku, skripsi, tesis, disertasi, artikel yang tidak melalui proses *peer review*, artikel duplikat, serta publikasi yang tidak relevan dengan fokus penelitian. Seluruh dokumen yang diperoleh kemudian diekspor ke perangkat lunak manajemen referensi untuk menghapus data ganda (*duplicate records*) sebelum dilakukan proses penyaringan berdasarkan judul, abstrak, dan isi artikel sehingga diperoleh literatur yang memenuhi kriteria analisis.

Prosedur seleksi literatur mengikuti tahapan Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses (PRISMA) yang meliputi identifikasi (*identification*), penyaringan (*screening*), penilaian kelayakan (*eligibility*), dan penetapan artikel akhir (*included studies*). Data yang memenuhi kriteria kemudian dianalisis menggunakan dua pendekatan, yaitu analisis deskriptif untuk menggambarkan distribusi publikasi berdasarkan tahun, penulis, sumber publikasi, dan kata kunci, serta analisis bibliometrik menggunakan VOSviewer untuk memetakan jaringan *co-occurrence* kata kunci, *co-authorship*, *overlay visualization*, dan *density visualization*. Validitas penelitian dijaga melalui penerapan protokol SLR yang konsisten, penggunaan kriteria inklusi dan eksklusi yang telah ditetapkan sejak awal, serta proses verifikasi terhadap metadata artikel yang berasal dari tiga basis data ilmiah. Keandalan hasil analisis diperkuat melalui proses pemeriksaan ulang (*cross-checking*) terhadap data bibliografi, eliminasi duplikasi dokumen, dan interpretasi hasil visualisasi bibliometrik yang dikombinasikan dengan sintesis temuan penelitian terdahulu sehingga menghasilkan pemetaan arah riset yang komprehensif, objektif, dan dapat dipertanggungjawabkan secara ilmiah.

C. HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisis distribusi publikasi berdasarkan tahun dilakukan untuk menggambarkan perkembangan tren penelitian pada topik yang dikaji selama periode 2017–2026. Informasi ini memberikan gambaran mengenai dinamika produktivitas publikasi dari tahun ke tahun, sehingga dapat diketahui kecenderungan peningkatan

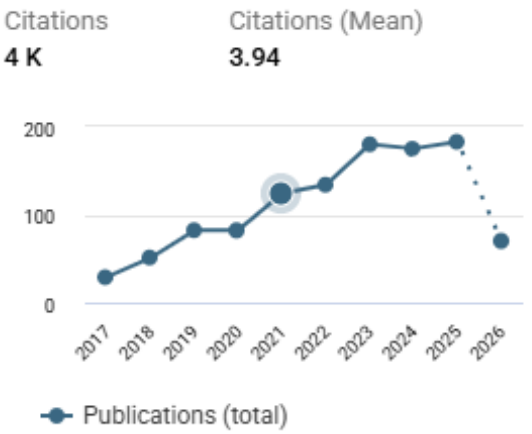
maupun penurunan jumlah penelitian yang telah dipublikasikan. Hasil distribusi publikasi berdasarkan tahun disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Distribusi publikasi berdasarkan tahun.

Tahun	Jumlah Publikasi	Persentase
2017	19	3,8%
2018	35	7,0%
2019	52	10,4%
2020	43	8,6%
2021	65	13,0%
2022	62	12,4%
2023	66	13,2%
2024	65	13,0%
2025	70	14,0%
2026*	23	4,6%
Total	500	100%

Sumber: Data diolah dari **Dimensions AI** (https://app.dimensions.ai), diakses pada **28 Juni 2026**.
*Data tahun 2026 merupakan data yang masih berjalan (year-to-date), sehingga jumlahnya belum mencerminkan keseluruhan publikasi selama satu tahun.

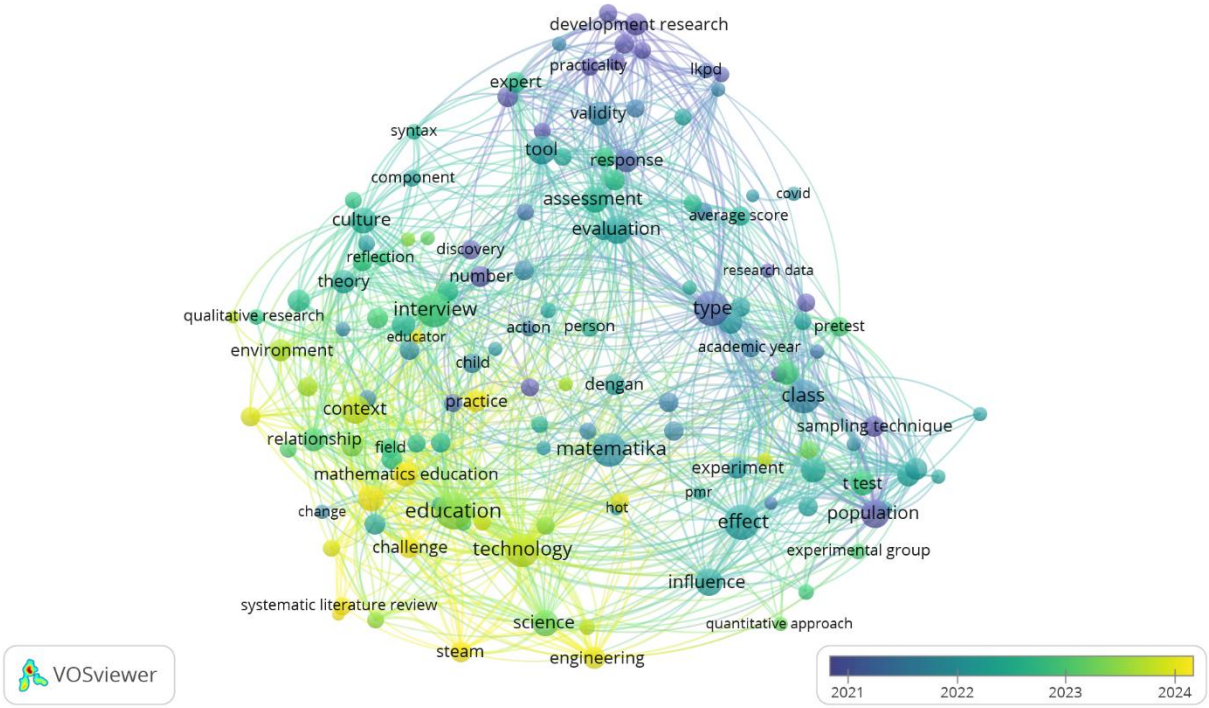
Berdasarkan Tabel 1 jumlah publikasi menunjukkan kecenderungan meningkat selama periode 2017–2025, meskipun terdapat fluktuasi pada beberapa tahun. Publikasi terendah tercatat pada tahun 2017 sebanyak 19 artikel (3,8%), kemudian meningkat menjadi 35 artikel (7,0%) pada 2018 dan 52 artikel (10,4%) pada 2019. Jumlah publikasi sempat menurun pada 2020 menjadi 43 artikel (8,6%), namun kembali meningkat pada 2021 hingga mencapai 65 artikel (13,0%). Pada periode 2022–2025, produktivitas publikasi relatif stabil pada kisaran 62–70 artikel per tahun, dengan jumlah tertinggi terjadi pada 2025 sebanyak 70 artikel (14,0%). Sementara itu, publikasi tahun 2026 tercatat sebanyak 23 artikel (4,6%); jumlah ini relatif lebih rendah karena data yang digunakan hanya mencakup publikasi yang telah terindeks hingga waktu pengumpulan data, sehingga belum merepresentasikan keseluruhan publikasi sepanjang tahun 2026.



Gambar 2. Tren publikasi penelitian pendidikan matematika tahun 2017–2026.
Sumber: Diolah penulis berdasarkan data **Dimensions AI** menggunakan VOSviewer (diakses 28 Juni 2026).

Gambar 2 menampilkan secara keseluruhan, tren publikasi menunjukkan peningkatan jangka panjang yang positif. Jumlah publikasi bertambah dari 19 dokumen pada tahun 2017 menjadi 70 dokumen pada tahun 2025, atau meningkat hampir 3,7 kali lipat. Meskipun terjadi penurunan sementara pada tahun 2020, produktivitas penelitian kembali meningkat secara konsisten pada periode 2021–2025. Hal ini menunjukkan bahwa topik penelitian semakin mendapat perhatian dari komunitas akademik dan berkembang menjadi bidang kajian yang mapan.

Jika dikaitkan dengan hasil Overlay Visualization VOSviewer, perkembangan kuantitas publikasi tersebut juga diikuti oleh evolusi tema penelitian. Pada periode awal, penelitian didominasi oleh pengembangan dan validasi perangkat pembelajaran. Selanjutnya, fokus bergeser pada pengujian efektivitas melalui penelitian eksperimen, dan pada periode terbaru berkembang menuju integrasi teknologi, pendekatan STEAM, pendidikan berbasis budaya dan lingkungan, serta kajian bibliometrik dan *systematic literature review*. Dengan demikian, peningkatan jumlah publikasi tidak hanya mencerminkan bertambahnya produktivitas penelitian, tetapi juga menunjukkan semakin luas dan kompleksnya arah pengembangan riset dalam bidang pendidikan matematika.



Gambar 3. Interpretasi Keseluruhan Peta VOSviewer

Gambar 3 menampilkan secara umum, visualisasi overlay menunjukkan adanya evolusi penelitian yang berlangsung secara bertahap. Tahap pertama (2021–2022) didominasi oleh penelitian pengembangan perangkat pembelajaran melalui validasi dan uji kepraktisan. Tahap kedua (2022–2023) bergeser pada implementasi perangkat tersebut melalui penelitian eksperimen untuk mengukur efektivitasnya terhadap hasil belajar. Tahap ketiga (2023–2024) menunjukkan perluasan ruang lingkup penelitian ke arah transformasi pendidikan berbasis teknologi, STEAM, budaya, lingkungan, serta kajian bibliometrik dan *systematic literature review*. Evolusi ini memperlihatkan bahwa fokus penelitian pendidikan matematika semakin kompleks, tidak hanya mengejar peningkatan hasil belajar, tetapi juga mengintegrasikan kompetensi abad ke-21, keberlanjutan, dan inovasi digital.

1. Perkembangan Klaster Penelitian Pendidikan Matematika Tahun 2021–2024

a. Karakteristik Klaster Awal (2021–2022)

Hasil analisis *overlay visualization* menunjukkan bahwa klaster penelitian pendidikan matematika pada periode 2021–2022 didominasi oleh kata kunci *development research*, *validity*, *practicality*, *expert*, *assessment*, *evaluation*, *response*, dan *LKPD*. Dominasi tersebut mengindikasikan bahwa arah penelitian pada fase awal berfokus pada pengembangan perangkat pembelajaran melalui pendekatan Research and Development (R&D) dengan tujuan menghasilkan produk yang memenuhi kriteria valid, praktis, dan efektif sebelum diimplementasikan secara luas. Berbagai penelitian yang terindeks di Google Scholar, DOAJ, dan Scopus memperlihatkan pola yang konsisten bahwa model pengembangan seperti ADDIE, 4-D, Plomp, maupun Borg and Gall menjadi pendekatan yang paling banyak digunakan dalam mengembangkan LKPD, e-LKPD, modul, maupun perangkat evaluasi pembelajaran matematika. Misalnya, Rahmi (2023) melaporkan bahwa LKPD daring berbasis

kemampuan pemecahan masalah yang dikembangkan melalui model 4-D memperoleh kategori valid berdasarkan penilaian ahli dan praktis berdasarkan respons guru serta peserta didik sehingga layak digunakan dalam pembelajaran matematika. Demikian pula, Solihati et al. (2023) menemukan bahwa e-LKPD berbasis *Realistic Mathematics Education* (RME) yang dikembangkan menggunakan model ADDIE memperoleh tingkat kevalidan sebesar 91,7%**,** kepraktisan 80,9%**,** serta efektif meningkatkan kemampuan pemecahan masalah matematis dengan nilai *N-gain* kategori sedang. Penelitian Sarman et al. (2023) juga menunjukkan bahwa pengembangan e-LKPD berbantuan *Liveworksheets* memenuhi kriteria valid dan efektif dalam meningkatkan kemampuan pemecahan masalah matematis peserta didik. Selanjutnya, Kenjam et al. (2024) melaporkan bahwa LKPD berbasis *Realistic Mathematics Education* memenuhi kategori sangat valid (86,6%), sangat praktis (97,5%), serta efektif meningkatkan hasil belajar matematika siswa melalui peningkatan nilai *pretest–posttest*. Hasil tersebut diperkuat oleh Elenawati et al. (2024) yang mengembangkan instrumen evaluasi pembelajaran matematika berbasis Wordwall menggunakan pendekatan R&D dan membuktikan bahwa produk yang dihasilkan memiliki tingkat validitas dan kepraktisan yang tinggi sehingga layak diterapkan sebagai instrumen evaluasi pembelajaran. Secara keseluruhan, berbagai hasil penelitian tersebut mempertegas bahwa karakteristik klaster awal penelitian pendidikan matematika didominasi oleh pengembangan perangkat pembelajaran yang menekankan proses validasi ahli, uji kepraktisan melalui respons pengguna, dan evaluasi efektivitas sebagai indikator utama kualitas produk sebelum diterapkan pada skala yang lebih luas.

Selain pengembangan LKPD konvensional, penelitian pada periode 2016–2026 juga menunjukkan kecenderungan kuat terhadap pengembangan perangkat pembelajaran digital yang mengintegrasikan pendekatan inovatif untuk meningkatkan kualitas pembelajaran matematika. Perangkat yang dikembangkan tidak hanya diuji dari aspek validitas isi dan konstruk, tetapi juga kepraktisan penggunaan oleh guru dan peserta didik serta efektivitas dalam meningkatkan kemampuan berpikir tingkat tinggi. Misalnya, Kiswari et al. (2022) mengembangkan LKPD berbasis STEM menggunakan metode *Research and Development* dan melaporkan bahwa produk yang dihasilkan memenuhi kriteria valid (80,9%), praktis berdasarkan respons guru (83%) dan siswa (87%), serta efektif meningkatkan kemampuan berpikir kritis dengan nilai *N-gain* kategori sedang dan *effect size* tinggi. Penelitian Supriatna et al. (2022) juga menunjukkan bahwa LKPD berbasis Realistic Mathematics Education (RME) yang dikembangkan melalui model 4-D memperoleh kategori sangat valid berdasarkan penilaian ahli dan mampu meningkatkan kemampuan berpikir kritis peserta didik pada uji coba terbatas. Selanjutnya, Fuad (2022) mengembangkan LKPD berbasis Problem Based Learning (PBL) dan memperoleh tingkat validitas dari ahli materi dan media di atas 80% serta respons siswa yang sangat positif, sehingga dinyatakan layak sebagai perangkat pembelajaran matematika. Hasil penelitian Rahmi (2023) memperlihatkan bahwa LKPD daring berbasis kemampuan pemecahan masalah memperoleh tingkat validitas sangat tinggi dari ahli materi (93%) dan ahli media (91,81%), disertai tingkat kepraktisan yang sangat baik berdasarkan respons guru maupun peserta didik. Penelitian terbaru oleh Tawa et al. (2025) semakin menegaskan arah perkembangan penelitian R&D melalui pengembangan LKPD berbasis RME menggunakan model ADDIE yang tidak hanya memenuhi aspek validitas dan kepraktisan, tetapi juga terbukti mendukung pengembangan *Higher Order Thinking Skills* (HOTS) melalui aktivitas pemecahan masalah kontekstual. Secara keseluruhan, berbagai temuan tersebut menunjukkan bahwa karakteristik klaster awal penelitian pendidikan matematika tidak hanya berorientasi pada pengembangan perangkat pembelajaran, tetapi juga pada proses evaluasi yang komprehensif melalui pengujian validitas, kepraktisan, dan efektivitas sehingga produk yang dihasilkan memiliki kualitas pedagogis yang tinggi dan siap diimplementasikan dalam berbagai konteks pembelajaran.

Berdasarkan sintesis terhadap berbagai penelitian yang dipublikasikan pada periode 2016–2026, dapat diinterpretasikan bahwa dominasi penelitian Research and Development (R&D) dalam pendidikan matematika mencerminkan adanya kebutuhan yang kuat untuk menghasilkan perangkat pembelajaran yang tidak hanya inovatif, tetapi juga memenuhi standar kualitas sebelum diimplementasikan pada proses pembelajaran. Hampir seluruh penelitian yang dikaji menempatkan validitas, kepraktisan, dan efektivitas sebagai tiga indikator utama keberhasilan produk yang dikembangkan. Hasil validasi oleh ahli pada berbagai penelitian menunjukkan bahwa LKPD, e-LKPD,

maupun perangkat pembelajaran digital umumnya berada pada kategori valid hingga sangat valid, sedangkan uji kepraktisan melalui respons guru dan peserta didik menunjukkan bahwa produk mudah digunakan serta sesuai dengan karakteristik pembelajaran matematika di sekolah (Kiswari et al., 2022; Rahmi, 2023). Selain itu, evaluasi efektivitas melalui uji *N-gain*, *pretest–posttest*, maupun peningkatan kemampuan berpikir kritis dan pemecahan masalah memperlihatkan bahwa perangkat hasil pengembangan mampu memberikan dampak positif terhadap hasil belajar peserta didik (Solihati et al., 2023; Kenjam et al., 2024; Tawa et al., 2025). Temuan-temuan tersebut memperkuat interpretasi terhadap klaster awal hasil analisis VOSviewer yang memperlihatkan dominasi kata kunci *development research*, *validity*, *practicality*, *expert*, *assessment*, dan *evaluation*. Dengan demikian, fase penelitian pada periode 2021–2022 dapat dipandang sebagai fase penguatan kualitas produk pembelajaran, yaitu ketika perhatian peneliti lebih difokuskan pada penyempurnaan desain, validasi ilmiah, dan kelayakan implementasi perangkat pembelajaran sebelum memasuki tahap pengujian efektivitas secara lebih luas pada periode penelitian berikutnya. Dari sisi evaluatif, kecenderungan ini menunjukkan bahwa komunitas akademik telah memiliki kesadaran yang tinggi terhadap pentingnya proses penjaminan mutu (*quality assurance*) dalam pengembangan perangkat pembelajaran matematika. Namun demikian, sebagian besar penelitian masih berfokus pada uji coba dalam skala terbatas dan konteks lokal, sehingga penelitian selanjutnya perlu memperluas implementasi pada berbagai jenjang pendidikan, karakteristik peserta didik, serta mengintegrasikan teknologi digital dan kecerdasan buatan agar perangkat pembelajaran yang dikembangkan memiliki tingkat generalisasi, adaptabilitas, dan keberlanjutan yang lebih tinggi.

b. Pergeseran Menuju Implementasi (2022–2023)

Pada periode 2022–2023, hasil analisis *overlay visualization* menunjukkan adanya pergeseran fokus penelitian pendidikan matematika dari pengembangan perangkat pembelajaran menuju implementasi model pembelajaran melalui penelitian eksperimen dan pengujian efektivitas**.** Pergeseran tersebut ditunjukkan oleh munculnya kata kunci *effect*, *experiment*, *experimental group*, *pretest*, *posttest*, *t-test*, *population*, *sampling technique*, *quantitative approach*, dan *interview*, yang menggambarkan dominasi desain kuasi eksperimen maupun *true experiment* untuk mengukur dampak suatu model pembelajaran terhadap hasil belajar siswa. Selain itu, mulai berkembang integrasi pendekatan mixed methods**,** yaitu mengombinasikan analisis kuantitatif untuk menguji efektivitas pembelajaran dengan data kualitatif berupa wawancara, observasi, dan refleksi peserta didik guna memperoleh pemahaman yang lebih komprehensif mengenai proses pembelajaran. Temuan ini sejalan dengan penelitian Simamora dan Ramadhanta (2024) yang menggunakan desain *embedded mixed methods* untuk mengevaluasi efektivitas pendekatan *Realistic Mathematics Education* (RME). Hasil penelitian menunjukkan bahwa kelompok eksperimen memperoleh peningkatan kreativitas matematis yang secara signifikan lebih tinggi dibandingkan kelompok kontrol, sedangkan hasil wawancara mengungkapkan peningkatan *self-efficacy*, motivasi, dan keterlibatan siswa selama proses pembelajaran. Penelitian kuasi eksperimen oleh Akbar et al. (2023) juga membuktikan bahwa penerapan pembelajaran inovatif memberikan pengaruh yang signifikan terhadap kemampuan pemecahan masalah matematis dibandingkan pembelajaran konvensional, sehingga desain eksperimen menjadi pendekatan yang dominan dalam mengevaluasi efektivitas inovasi pembelajaran. Selanjutnya, Sidabutar et al. (2025) melalui kajian *mixed methods* menjelaskan bahwa integrasi data kuantitatif dan kualitatif memungkinkan peneliti tidak hanya mengukur peningkatan hasil belajar, tetapi juga mengidentifikasi faktor-faktor yang memengaruhi keberhasilan implementasi inovasi pembelajaran matematika di era digital, seperti kesiapan guru, adaptasi peserta didik, dan dukungan teknologi. Hasil penelitian terbaru Kurniawan et al. (2026) menunjukkan bahwa pembelajaran yang mengintegrasikan etnomatematika, *Augmented Reality* (AR), kecerdasan buatan (AI), dan *Deep Learning* melalui desain *mixed methods* secara signifikan meningkatkan kemampuan berpikir kritis matematis, sementara data wawancara memperlihatkan meningkatnya motivasi dan pengalaman belajar peserta didik. Temuan serupa juga dilaporkan oleh Adriani et al. (2026) yang menerapkan desain *explanatory sequential mixed methods* pada pembelajaran berbasis *Problem-Based Learning* (PBL). Penelitian tersebut membuktikan bahwa kelas eksperimen mencapai ketuntasan belajar yang secara signifikan lebih tinggi dibandingkan kelas kontrol, sedangkan analisis kualitatif menunjukkan bahwa *self-regulated learning* menjadi prediktor penting dalam pengembangan

kemampuan berpikir kritis matematis. Secara keseluruhan, hasil-hasil penelitian tersebut memperlihatkan bahwa fase 2022–2023 merupakan periode transisi ketika penelitian pendidikan matematika tidak lagi berfokus pada pengembangan produk semata, tetapi lebih menekankan pembuktian empiris terhadap efektivitas inovasi pembelajaran melalui desain eksperimen yang diperkaya dengan pendekatan kuantitatif dan kualitatif secara terpadu.

Selain penelitian eksperimen konvensional, periode 2016–2026 juga memperlihatkan meningkatnya penggunaan desain kuasi eksperimen, mixed methods, meta-analisis, dan systematic literature review untuk memperoleh bukti empiris yang lebih komprehensif mengenai efektivitas pembelajaran matematika. Penelitian tidak lagi hanya berorientasi pada pengujian perbedaan hasil belajar melalui analisis statistik inferensial, tetapi juga mengeksplorasi faktor-faktor yang memengaruhi keberhasilan implementasi model pembelajaran melalui observasi, wawancara, dan refleksi peserta didik. Fitriyah et al. (2022) melalui studi meta-analisis terhadap delapan penelitian menemukan bahwa penerapan *Problem-Based Learning* (PBL) memberikan pengaruh yang sangat kuat terhadap kemampuan penalaran matematis siswa dengan ukuran efek yang tinggi (*Hedges' g* = 2,062), sehingga memperkuat bukti empiris efektivitas pendekatan eksperimen dalam pendidikan *matematika*. Selanjutnya, Ambarwati et al. (2022) membuktikan melalui desain kuasi eksperimen bahwa PBL berbantuan bahan ajar gamifikasi menghasilkan kemampuan pemecahan masalah matematis yang secara signifikan lebih baik dibandingkan pembelajaran konvensional. Hasil yang sejalan juga dilaporkan oleh Hajeniati dan Kaharuddin (2022) yang menunjukkan bahwa kombinasi *Problem-Based Learning* dengan *Contextual Teaching and Learning* lebih efektif dalam meningkatkan hasil belajar, keaktifan, dan respons siswa dibandingkan penggunaan masing-masing model secara terpisah. Pada sisi metodologis, Alreshidi dan Lally (2024) melalui penelitian *mixed methods* menunjukkan bahwa pelatihan guru dalam mengimplementasikan PBL tidak hanya meningkatkan kemampuan siswa dalam mengaplikasikan konsep matematika, tetapi juga memperbaiki sikap positif siswa terhadap pembelajaran matematika, sedangkan data kualitatif mengungkap pentingnya strategi metakognitif dalam mendukung keberhasilan implementasi model pembelajaran. Temuan tersebut diperkuat oleh Aransado (2026) melalui meta-analisis terhadap sepuluh studi internasional yang menyimpulkan bahwa integrasi teknologi dalam *Technology-Integrated Problem-Based Learning* (TIPBL) memberikan ukuran efek yang sangat besar terhadap peningkatan prestasi matematika (*g* = 2,85), sekaligus menunjukkan bahwa kombinasi pendekatan kuantitatif dan sintesis sistematis mampu menghasilkan bukti ilmiah yang lebih kuat untuk mendukung pengambilan keputusan dalam praktik pembelajaran matematika. Dengan demikian, karakteristik penelitian pada periode 2022–2023 memperlihatkan pergeseran yang nyata dari penelitian pengembangan menuju penelitian implementatif yang menekankan pembuktian efektivitas inovasi pembelajaran melalui pendekatan metodologis yang semakin beragam dan komprehensif.

Berdasarkan sintesis terhadap berbagai penelitian yang dipublikasikan selama periode 2016–2026, dapat diinterpretasikan bahwa klaster penelitian pendidikan matematika pada fase 2022–2023 mengalami pergeseran yang jelas dari orientasi pengembangan produk pembelajaran menuju implementasi inovasi pembelajaran melalui penelitian eksperimen dan pengujian efektivitas**.** Pergeseran tersebut ditandai dengan semakin dominannya penggunaan desain kuasi eksperimen, *true experiment*, *pretest–posttest control group*, serta *mixed methods* untuk memperoleh bukti empiris mengenai pengaruh model, media, maupun pendekatan pembelajaran terhadap kemampuan matematis peserta didik. Berbagai hasil penelitian menunjukkan bahwa model pembelajaran inovatif, seperti *Realistic Mathematics Education* (RME), *Problem-Based Learning* (PBL), pembelajaran berbasis gamifikasi, maupun integrasi teknologi digital, secara konsisten memberikan dampak positif terhadap kemampuan pemecahan masalah, penalaran, berpikir kritis, kreativitas matematis, dan hasil belajar siswa (Akbar et al., 2023; Simamora & Ramadhanta, 2024). Bahkan, hasil meta-analisis Fitriyah et al. (2022) dan Aransado (2026) memperlihatkan bahwa efektivitas model pembelajaran tersebut memiliki ukuran efek yang tinggi hingga sangat tinggi, sehingga memberikan bukti ilmiah yang lebih kuat dibandingkan penelitian eksperimen tunggal. Di sisi lain, meningkatnya penggunaan pendekatan *mixed methods* memperlihatkan bahwa peneliti tidak lagi hanya berfokus pada signifikansi statistik, tetapi juga berupaya memahami proses implementasi pembelajaran melalui data observasi, wawancara, refleksi, dan pengalaman belajar peserta didik. Temuan Alreshidi dan Lally (2024)

menunjukkan bahwa data kualitatif mampu menjelaskan faktor-faktor yang mendukung keberhasilan implementasi pembelajaran, seperti kompetensi guru, strategi metakognitif, motivasi belajar, dan interaksi selama proses pembelajaran, yang tidak dapat dijelaskan hanya melalui analisis kuantitatif. Oleh karena itu, interpretasi terhadap klaster ini menunjukkan bahwa penelitian pendidikan matematika telah memasuki fase pembuktian empiris (evidence-based implementation), yaitu ketika kualitas suatu inovasi pembelajaran tidak lagi dinilai hanya berdasarkan validitas produk, tetapi berdasarkan efektivitas implementasinya dalam konteks pembelajaran nyata. Dari perspektif evaluatif, perkembangan tersebut mencerminkan semakin matangnya metodologi penelitian pendidikan matematika karena mampu menghasilkan bukti yang lebih komprehensif melalui triangulasi data kuantitatif dan kualitatif. Meskipun demikian, sebagian besar penelitian masih dilakukan pada ruang lingkup sekolah *atau* wilayah tertentu dengan durasi implementasi yang relatif singkat. Oleh karena itu, penelitian selanjutnya perlu memperluas cakupan sampel, melibatkan konteks lintas daerah atau lintas negara, menerapkan desain longitudinal, serta mengintegrasikan analisis *learning analytics*, kecerdasan buatan (*Artificial Intelligence*), dan *Educational Data Mining* agar efektivitas inovasi pembelajaran dapat dievaluasi secara lebih mendalam, berkelanjutan, dan memiliki daya generalisasi yang lebih tinggi.

2. Hubungan Antar Kata Kunci dan Dinamika Tema Penelitian

a. Kata Kunci Sentral sebagai Penghubung Klaster

Matematika (*mathematics*), *assessment*, *education*, dan *technology* merupakan empat kata kunci yang menempati posisi sentral dalam jaringan ko-okurensi VOSviewer sehingga berfungsi sebagai simpul penghubung (*bridging nodes*) antarberbagai klaster penelitian. Posisi sentral tersebut menunjukkan bahwa perkembangan penelitian pendidikan matematika tidak lagi berdiri pada satu tema tertentu, tetapi berkembang melalui integrasi antara proses pembelajaran, asesmen, teknologi, dan inovasi pedagogik. Berbagai penelitian selama periode 2016–2026 mendukung pola tersebut. Higgins et al. (2019) melalui meta-analisis terhadap 24 penelitian melaporkan bahwa penggunaan teknologi dalam pembelajaran matematika memberikan pengaruh positif yang signifikan terhadap prestasi belajar, motivasi, dan sikap siswa terhadap matematika, meskipun besarnya pengaruh dipengaruhi oleh jenis teknologi dan karakteristik intervensi. Selanjutnya, Faber et al. (2020) membuktikan bahwa *technology-enhanced formative assessment* menggunakan *Interactive Whiteboard* mampu memprediksi peningkatan capaian matematika siswa secara longitudinal sekaligus memperkuat fungsi asesmen formatif sebagai bagian integral dari proses pembelajaran. Kajian sintesis yang dilakukan oleh Amaludin et al. (2025) menunjukkan bahwa integrasi teknologi digital telah mengubah paradigma pembelajaran matematika dari pembelajaran yang berpusat pada guru menjadi pembelajaran yang adaptif, kolaboratif, dan berbasis data sehingga meningkatkan kualitas hasil belajar dan praktik pedagogis. Sejalan dengan itu, St Omer et al. (2025) menemukan bahwa penelitian teknologi dalam pendidikan matematika semakin mengarah pada pemanfaatan perangkat lunak adaptif, *learning management system*, *computer-aided assessment*, dan aplikasi matematika dinamis yang diintegrasikan dengan strategi pembelajaran aktif untuk meningkatkan kompetensi matematis peserta didik. Lebih lanjut, Romandoni et al. (2025) melalui *systematic literature review* mengungkapkan bahwa asesmen dalam pendidikan matematika telah bergeser dari sekadar mengukur hasil belajar menuju asesmen autentik yang mampu mengevaluasi keterkaitan antara *computational thinking* dan kompetensi matematika secara terpadu. Dengan demikian, dominasi kata kunci *mathematics*, *assessment*, *education*, dan *technology* menunjukkan bahwa keempatnya berperan sebagai fondasi konseptual yang menghubungkan berbagai tema penelitian dalam pendidikan matematika.

Selain menjadi simpul utama, hubungan antarkata kunci tersebut juga memperlihatkan adanya keterkaitan yang erat antara pengembangan, implementasi, dan evaluasi pembelajaran sebagai suatu siklus penelitian yang berkesinambungan. Penelitian-penelitian terkini menunjukkan bahwa inovasi pembelajaran tidak lagi berhenti pada tahap pengembangan perangkat, tetapi dilanjutkan dengan implementasi dalam konteks pembelajaran nyata serta evaluasi efektivitas melalui berbagai pendekatan asesmen. Burns et al. (2025) melalui meta-analisis menunjukkan bahwa latihan fakta matematika berbasis teknologi memberikan dampak positif yang signifikan terhadap hasil belajar, namun keberhasilannya sangat dipengaruhi oleh desain implementasi dan karakteristik asesmen yang

digunakan. Selanjutnya, Nurhayati et al. (2026) menjelaskan bahwa implementasi *Adaptive Learning Systems* (ALS) dalam pendidikan matematika akan berhasil apabila didukung oleh kesiapan pedagogis guru dan integrasi strategi pembelajaran, bukan semata-mata oleh kecanggihan teknologi yang digunakan. Temuan tersebut diperkuat oleh Prate et al. (2026) yang menyimpulkan bahwa intervensi berbasis teknologi pada pembelajaran pemecahan masalah matematika memberikan ukuran efek yang tinggi terhadap prestasi belajar siswa sekolah dasar, terutama ketika teknologi diintegrasikan secara tepat dalam desain pembelajaran. Di sisi lain, Sugiharni et al. (2026) menunjukkan bahwa pengembangan rubrik asesmen digital berbasis kearifan lokal tidak hanya meningkatkan kualitas evaluasi pembelajaran matematika, tetapi juga memperkuat kemampuan reflektif peserta didik melalui integrasi teknologi dan konteks budaya. Sementara itu, kajian sistematis Sepdikasari et al. (2026) menegaskan bahwa perkembangan teknologi digital mendorong lahirnya model pembelajaran yang mendukung *self-regulated learning* dan *co-regulated learning*, sehingga proses pengembangan perangkat, implementasi pembelajaran, dan evaluasi hasil belajar menjadi semakin terintegrasi dalam satu ekosistem pembelajaran digital. Oleh karena itu, keterhubungan antarkata kunci pada visualisasi VOSviewer tidak hanya menggambarkan hubungan konseptual antarvariabel penelitian, tetapi juga merepresentasikan evolusi penelitian pendidikan matematika yang bergerak secara sistematis dari tahap pengembangan inovasi, implementasi di kelas, hingga evaluasi berbasis teknologi dan asesmen autentik.

Berdasarkan sintesis terhadap berbagai penelitian yang dipublikasikan pada periode 2016–2026, dapat diinterpretasikan bahwa kata kunci mathematics**,** assessment**,** education, dan technology berfungsi sebagai simpul utama (central nodes) yang menghubungkan berbagai arah perkembangan penelitian pendidikan matematika. Hasil penelitian menunjukkan bahwa keempat konsep tersebut tidak berkembang secara terpisah, melainkan membentuk suatu ekosistem penelitian yang saling melengkapi mulai dari tahap pengembangan inovasi pembelajaran, implementasi di kelas, hingga evaluasi hasil belajar. Berbagai penelitian meta-analisis dan *systematic literature review* menunjukkan bahwa integrasi teknologi dalam pembelajaran matematika secara konsisten memberikan dampak positif terhadap prestasi akademik, motivasi belajar, kemampuan berpikir kritis, serta keterampilan pemecahan masalah peserta didik apabila didukung oleh sistem asesmen yang tepat (Higgins et al., 2019; Amaludin et al., 2025; St Omer et al., 2025). Di sisi lain, penelitian longitudinal dan eksperimen membuktikan bahwa asesmen formatif berbasis teknologi tidak hanya berfungsi sebagai alat ukur hasil belajar, tetapi juga menjadi bagian integral dari proses pembelajaran melalui pemberian umpan balik (*feedback*) yang berkelanjutan sehingga mampu meningkatkan kualitas pembelajaran matematika (Faber et al., 2020). Selanjutnya, penelitian terbaru mengenai *Adaptive Learning Systems*, asesmen digital, dan *Technology-Integrated Problem-Based Learning* memperlihatkan bahwa keberhasilan implementasi teknologi sangat bergantung pada desain pedagogis, kesiapan guru, karakteristik peserta didik, serta kualitas instrumen asesmen yang digunakan (Nurhayati et al., 2026; Prate et al., 2026; Sugiharni et al., 2026). Temuan tersebut memperkuat hasil analisis VOSviewer yang menempatkan kata kunci mathematics**,** assessment**,** education**,** dan technology sebagai pusat keterhubungan antarklaster karena keempatnya memiliki tingkat ko-okurensi yang tinggi dengan tema-tema lain seperti *development research*, *experiment*, *evaluation*, *STEM*, *problem solving*, dan *learning outcomes*. Dari perspektif evaluatif, dinamika tersebut menunjukkan bahwa penelitian pendidikan matematika telah mengalami transformasi dari penelitian yang bersifat parsial menuju penelitian yang bersifat integratif dan berbasis bukti (*evidence-based education*), di mana proses pengembangan perangkat, implementasi model pembelajaran, dan evaluasi hasil belajar dipandang sebagai satu siklus penelitian yang saling berkaitan. Oleh karena itu, keberadaan kata kunci sentral dalam peta bibliometrik tidak hanya merepresentasikan frekuensi kemunculan yang tinggi, tetapi juga menggambarkan perannya sebagai penghubung konseptual yang mengintegrasikan inovasi pedagogik, teknologi pendidikan, dan asesmen autentik dalam membentuk arah perkembangan penelitian pendidikan matematika pada periode 2021–2024. Selain itu, temuan ini mengindikasikan bahwa agenda penelitian di masa mendatang perlu diarahkan pada penguatan sinergi antara teknologi digital, asesmen berbasis data (*data-driven assessment*), kecerdasan buatan (*Artificial Intelligence*), dan analitik pembelajaran (*learning analytics*) agar pengembangan, implementasi, dan

evaluasi pembelajaran matematika dapat berlangsung secara lebih adaptif, berkelanjutan, dan relevan dengan tuntutan pendidikan abad ke-21.

b. Pola Kolaborasi dan Integrasi Tema

Peta perkembangan penelitian selama periode 2016–2026 menunjukkan bahwa tema teknologi, budaya, lingkungan, dan pembelajaran matematika semakin terintegrasi dalam berbagai pendekatan pembelajaran. Penelitian-penelitian yang terindeks Scopus, DOAJ, dan Google Scholar mengindikasikan bahwa teknologi digital tidak lagi diposisikan hanya sebagai media pembelajaran, tetapi juga sebagai sarana untuk mengontekstualisasikan konsep matematika melalui budaya lokal (etnomatematika) dan isu-isu keberlanjutan lingkungan. Integrasi tersebut terbukti mampu meningkatkan kemampuan berpikir kritis, kreativitas, pemecahan masalah, serta keterlibatan peserta didik dalam pembelajaran matematika (Kholid et al., 2023; Sunzuma & Umbara, 2025). Kajian St Omer et al. (2025) juga menunjukkan bahwa pemanfaatan teknologi dalam pembelajaran matematika berkembang dari sekadar penggunaan perangkat digital menuju pembelajaran adaptif berbasis kecerdasan buatan, analitik pembelajaran, dan virtual learning yang memperkuat koneksi antara konsep matematika dengan konteks kehidupan nyata. Selain itu, berbagai penelitian literatur mengungkapkan bahwa pengembangan media digital berbasis budaya lokal, permainan edukatif, GeoGebra, augmented reality, dan multimedia interaktif menjadi tren utama dalam meningkatkan pemahaman konseptual matematika sekaligus memperkuat identitas budaya peserta didik (Usman et al., 2026; Garak et al., 2026; Fajri et al., 2024; Fathurrahman et al., 2024).

Di sisi metodologi, hasil pemetaan literatur memperlihatkan adanya konvergensi pendekatan eksperimen, Research and Development (R&D), serta kajian literatur sistematis dalam penelitian pendidikan matematika. Pendekatan eksperimen banyak digunakan untuk menguji efektivitas media, model, atau teknologi pembelajaran terhadap hasil belajar, sedangkan metode R&D mendominasi penelitian yang mengembangkan produk inovatif seperti media digital, modul etnomatematika, aplikasi berbasis STEM, dan platform pembelajaran matematika (Sunzuma & Umbara, 2025). Sementara itu, kajian systematic literature review (SLR) dan bibliometrik semakin banyak dimanfaatkan untuk memetakan tren penelitian, mengidentifikasi kesenjangan riset, serta merumuskan arah penelitian selanjutnya (Kholid et al., 2023; Kurniati et al., 2023). Temuan Romandoni et al. (2025) menunjukkan bahwa integrasi computational thinking dalam pendidikan matematika merupakan salah satu tema yang berkembang pesat sejak 2016 dan didukung oleh kombinasi penelitian eksperimen serta kajian literatur. Dengan demikian, pola kolaborasi antar tema dan konvergensi metodologi tersebut mencerminkan pergeseran penelitian pendidikan matematika menuju pendekatan multidisipliner yang mengintegrasikan teknologi, budaya, lingkungan, dan inovasi pembelajaran secara komprehensif.

Berdasarkan sintesis berbagai penelitian yang dipublikasikan pada periode 2016–2026, dapat diinterpretasikan bahwa pola kolaborasi dan integrasi tema dalam penelitian pendidikan matematika telah berkembang menuju pendekatan multidisipliner yang menghubungkan teknologi, budaya, lingkungan, dan inovasi pembelajaran dalam satu ekosistem penelitian yang saling melengkapi. Temuan-temuan dari berbagai studi menunjukkan bahwa integrasi teknologi digital—seperti *learning management system*, GeoGebra, *digital game-based learning*, *augmented reality*, hingga kecerdasan buatan—akan memberikan dampak yang lebih optimal apabila dipadukan dengan konteks budaya lokal melalui pendekatan etnomatematika serta isu-isu lingkungan yang relevan dengan kehidupan peserta didik (Kholid et al., 2023; Sunzuma & Umbara, 2025; Usman et al., 2026). Selain itu, konvergensi pendekatan eksperimen, *Research and Development* (R&D), serta *systematic literature review* memperlihatkan bahwa penelitian tidak lagi berfokus pada pengujian efektivitas media pembelajaran semata, tetapi juga mengembangkan produk inovatif sekaligus memetakan arah perkembangan keilmuan sebagai dasar pengambilan keputusan penelitian berikutnya (St Omer et al., 2025; Kurniati et al., 2023). Meskipun demikian, hasil evaluasi menunjukkan bahwa sebagian besar penelitian masih dilakukan secara parsial, misalnya hanya mengintegrasikan teknologi dengan budaya atau teknologi dengan pembelajaran tanpa melibatkan dimensi lingkungan secara bersamaan. Kondisi ini mengindikasikan masih terbukanya peluang

penelitian yang mengembangkan model pembelajaran matematika berbasis teknologi, budaya, dan lingkungan secara terpadu sehingga mampu menghasilkan inovasi pembelajaran yang kontekstual, berkelanjutan, dan sesuai dengan tuntutan kompetensi abad ke-21.

3. Tren Penelitian Masa Depan Berdasarkan Overlay Visualization

a. Emerging Topics Tahun 2023–2024

Hasil overlay visualization pada penelitian pendidikan matematika menunjukkan bahwa periode 2023–2024 ditandai dengan munculnya tema-tema baru (*emerging topics*) yang berpusat pada integrasi teknologi, pendekatan STEAM, dan pembelajaran kontekstual**.** Berbagai penelitian yang terindeks Scopus, DOAJ, dan Google Scholar mengungkapkan bahwa perkembangan teknologi digital, kecerdasan buatan (*artificial intelligence*), media interaktif, *digital game-based learning*, serta *learning analytics* semakin banyak dipadukan dengan pendekatan STEAM (Science, Technology, Engineering, Arts, and Mathematics) untuk membangun pengalaman belajar matematika yang lebih autentik dan berorientasi pada penyelesaian masalah nyata. Kajian sistematis oleh Sunzuma dan Umbara (2025) menunjukkan bahwa integrasi teknologi berbasis etnomatematika mengalami peningkatan signifikan sejak 2016 dan mencapai puncaknya pada 2022–2023, terutama melalui pengembangan media digital berbasis budaya lokal yang mampu meningkatkan motivasi, keterlibatan, dan pemahaman konsep matematika. Sejalan dengan itu, St Omer et al. (2025) melaporkan bahwa penelitian mutakhir dalam pembelajaran matematika semakin mengarah pada pemanfaatan teknologi adaptif, pembelajaran berbasis data, dan kecerdasan buatan yang dipadukan dengan pembelajaran kontekstual. Kajian Kholid et al. (2023) juga menunjukkan bahwa integrasi kerangka Technological Pedagogical Content Knowledge (TPACK) menjadi fondasi utama dalam pengembangan pembelajaran matematika berbasis teknologi, sedangkan Romandoni et al. (2025) mengidentifikasi computational thinking sebagai salah satu tema baru yang berkembang pesat dan banyak diintegrasikan dalam pembelajaran matematika abad ke-21.

Tema lain yang semakin menguat pada periode 2023–2024 adalah peran budaya dan lingkungan dalam inovasi pembelajaran matematika**.** Berbagai penelitian menunjukkan bahwa pembelajaran berbasis budaya lokal melalui pendekatan etnomatematika tidak hanya meningkatkan kemampuan pemecahan masalah dan berpikir kritis, tetapi juga memperkuat identitas budaya serta kepedulian terhadap lingkungan sekitar. Batiibwe (2024) mengungkapkan bahwa permainan tradisional, arsitektur, tenun, batik, tarian, hingga sistem bilangan lokal merupakan sumber belajar matematika yang efektif untuk menciptakan pembelajaran kontekstual. Hasil kajian Balacuit dan Oledan (2024) menunjukkan bahwa sebagian besar penelitian etnomatematika di tingkat sekolah menengah menggunakan aktivitas pertanian, permainan tradisional, dan kerajinan lokal sebagai konteks pembelajaran, sehingga berdampak positif terhadap hasil belajar dan keterampilan berpikir tingkat tinggi. Penelitian Winardi dan Jupri (2025) juga menegaskan bahwa permainan tradisional berbasis etnomatematika mampu meningkatkan kreativitas, motivasi, dan keterlibatan peserta didik. Selain itu, berbagai *systematic literature review* terbaru menekankan bahwa arah penelitian masa depan akan mengintegrasikan budaya lokal, isu keberlanjutan lingkungan (*Education for Sustainable Development*), serta teknologi digital dalam satu kerangka pembelajaran matematika yang lebih inklusif, kontekstual, dan berorientasi pada pembangunan berkelanjutan.

Berdasarkan sintesis hasil penelitian yang dipublikasikan selama periode 2016–2026, dapat diinterpretasikan bahwa emerging topics pada tahun 2023–2024 menunjukkan pergeseran fokus penelitian pendidikan matematika dari pengembangan media pembelajaran berbasis teknologi menuju integrasi yang lebih komprehensif antara teknologi, pendekatan STEAM**,** pembelajaran kontekstual, budaya lokal, dan keberlanjutan lingkungan. Berbagai penelitian mengindikasikan bahwa teknologi digital, seperti kecerdasan buatan (*artificial intelligence*), *learning analytics*, GeoGebra, *digital game-based learning*, serta platform pembelajaran adaptif, semakin efektif ketika dipadukan dengan konteks budaya dan permasalahan nyata yang dihadapi peserta didik sehingga mampu meningkatkan kemampuan berpikir kritis, kreativitas, pemecahan masalah, serta literasi matematika (Kholid et al., 2023; St Omer et al., 2025; Sunzuma & Umbara, 2025). Selain itu, meningkatnya penelitian mengenai etnomatematika, permainan tradisional, dan pembelajaran berbasis lingkungan menunjukkan bahwa budaya dan lingkungan tidak lagi dipandang sebagai konteks pelengkap, tetapi telah menjadi komponen utama dalam inovasi pembelajaran matematika yang mendukung

pencapaian tujuan *Education for Sustainable Development* (Balacuit & Oledan, 2024; Batiibwe, 2024). Hasil evaluasi juga memperlihatkan bahwa meskipun tren integrasi tersebut berkembang pesat, sebagian besar penelitian masih berfokus pada implementasi dalam skala lokal dan jangka pendek, sehingga masih diperlukan penelitian lanjutan yang mengembangkan model pembelajaran matematika berbasis STEAM yang mengintegrasikan teknologi, budaya, dan lingkungan secara simultan serta menguji efektivitasnya melalui desain penelitian longitudinal dan lintas konteks. Dengan demikian, hasil overlay visualization yang menempatkan tema-tema tersebut sebagai *emerging topics* pada tahun 2023–2024 mencerminkan arah perkembangan penelitian masa depan yang semakin bersifat multidisipliner, kontekstual, inovatif, dan berorientasi pada penguatan kompetensi abad ke-21 serta pembangunan berkelanjutan.

b. Implikasi terhadap Pengembangan Penelitian Selanjutnya

Hasil pemetaan penelitian periode 2016–2026 menunjukkan bahwa arah pengembangan riset pendidikan matematika semakin mengarah pada penelitian multidisipliner yang mengintegrasikan transformasi digital, ilmu pendidikan, ilmu komputer, kecerdasan buatan (*artificial intelligence*), analitik pembelajaran (*learning analytics*), STEAM, serta ilmu sosial dan budaya. Berbagai kajian sistematis mengungkapkan bahwa implementasi teknologi dalam pembelajaran matematika tidak lagi berfokus pada penggunaan perangkat digital semata, tetapi telah berkembang menuju ekosistem Education 4.0 yang menempatkan teknologi sebagai penggerak inovasi pembelajaran, personalisasi belajar, dan pengambilan keputusan berbasis data (Mukul & Büyüközkan, 2023). Di sisi lain, Kholid et al. (2023) menegaskan bahwa pengembangan kompetensi Technological Pedagogical Content Knowledge (TPACK) masih menjadi tantangan utama bagi guru matematika sehingga penelitian mendatang perlu mengembangkan model pelatihan guru yang lebih adaptif terhadap transformasi digital. Engelbrecht dan Borba (2024) juga menunjukkan bahwa perkembangan teknologi digital dalam lima tahun terakhir telah membuka peluang penelitian mengenai kecerdasan buatan generatif, *digital assessment*, *virtual learning*, serta pemodelan matematika berbasis teknologi. Selain itu, kajian Cevikbas et al. (2023) membuktikan bahwa teknologi digital mampu meningkatkan kemampuan pemodelan matematika, meskipun masih menghadapi kendala kompetensi digital pendidik dan peserta didik. Temuan-temuan tersebut menunjukkan bahwa peluang penelitian multidisipliner pada masa mendatang akan semakin menitikberatkan pada kolaborasi antara bidang pendidikan matematika, teknologi informasi, ilmu data, psikologi pendidikan, dan desain pembelajaran untuk menghasilkan inovasi yang lebih efektif dan berkelanjutan.

Berkaitan dengan agenda riset pendidikan matematika berbasis kompetensi abad ke-21 dan keberlanjutan**,** berbagai penelitian merekomendasikan agar pengembangan pembelajaran matematika diarahkan pada peningkatan kemampuan berpikir kritis, kreativitas, kolaborasi, komunikasi, *computational thinking*, literasi digital, serta kemampuan memecahkan masalah kontekstual yang relevan dengan Sustainable Development Goals (SDGs)**.** Kajian Su et al. (2023) menunjukkan bahwa pendidikan matematika memiliki peran strategis dalam mendukung *Education for Sustainable Development* (ESD), terutama melalui pengembangan kompetensi guru dan integrasi isu-isu lingkungan dalam pembelajaran. Sejalan dengan itu, Vásquez et al. (2023) menekankan bahwa penelitian selanjutnya perlu memperluas integrasi keberlanjutan dalam pendidikan matematika melalui konteks sosial, ekonomi, dan lingkungan secara terpadu. Penelitian mengenai pendekatan STEM terpadu juga memperlihatkan bahwa pengembangan kompetensi abad ke-21 akan lebih optimal apabila pembelajaran matematika dirancang secara lintas disiplin dan berbasis proyek nyata (Lafifa et al., 2023). Selain itu, Meylani (2025) menegaskan bahwa teknologi perlu diposisikan sebagai instrumen untuk mewujudkan pendidikan matematika yang inklusif, berkeadilan, dan mendukung pencapaian SDG 4 (Quality Education)**.** Oleh karena itu, agenda riset pendidikan matematika ke depan perlu diarahkan pada pengembangan model pembelajaran digital yang adaptif, berbasis budaya lokal dan keberlanjutan, memanfaatkan kecerdasan buatan secara etis, serta mengevaluasi dampaknya terhadap penguasaan kompetensi abad ke-21 melalui penelitian longitudinal dan kolaborasi internasional.

Berdasarkan sintesis hasil penelitian yang dipublikasikan selama periode 2016–2026, dapat diinterpretasikan bahwa implikasi terhadap pengembangan penelitian selanjutnya mengarah pada perlunya transformasi paradigma riset pendidikan matematika dari pendekatan yang bersifat monodisipliner menuju penelitian multidisipliner yang mengintegrasikan teknologi digital, kecerdasan

buatan (*artificial intelligence*), ilmu data, STEAM, budaya lokal, serta prinsip-prinsip keberlanjutan. Berbagai penelitian menunjukkan bahwa transformasi digital telah mengubah fokus penelitian dari sekadar pengembangan media pembelajaran menjadi pengembangan ekosistem pembelajaran yang adaptif, personal, berbasis data, dan mampu memfasilitasi pencapaian kompetensi abad ke-21, seperti berpikir kritis, kreativitas, komunikasi, kolaborasi, *computational thinking*, dan literasi digital (Kholid et al., 2023; Engelbrecht & Borba, 2024; Mukul & Büyüközkan, 2023). Di sisi lain, hasil kajian mengenai *Education for Sustainable Development* (ESD) menegaskan bahwa pembelajaran matematika memiliki peran strategis dalam mendukung pembangunan berkelanjutan melalui integrasi isu sosial, budaya, ekonomi, dan lingkungan ke dalam aktivitas pembelajaran (Su et al., 2023; Vásquez et al., 2023). Namun demikian, evaluasi terhadap penelitian yang ada menunjukkan bahwa sebagian besar studi masih berorientasi pada pengujian efektivitas teknologi dalam konteks lokal dan jangka pendek, sementara penelitian yang mengombinasikan transformasi digital, kompetensi abad ke-21, keberlanjutan, serta kolaborasi lintas disiplin masih relatif terbatas. Oleh karena itu, agenda penelitian ke depan perlu diarahkan pada pengembangan model pembelajaran matematika yang memanfaatkan kecerdasan buatan dan teknologi digital secara etis, mengintegrasikan konteks budaya dan lingkungan, serta dievaluasi melalui desain penelitian longitudinal, kolaborasi internasional, dan pendekatan *mixed methods* agar menghasilkan bukti empiris yang lebih kuat dan relevan terhadap tantangan pendidikan abad ke-21.

D. SIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil analisis bibliometrik terhadap publikasi ilmiah periode 2016–2025, dapat disimpulkan bahwa penelitian pendidikan matematika mengalami perkembangan yang dinamis dengan tiga tema utama yang saling berkaitan, yaitu teknologi pembelajaran, pendekatan STEAM, dan pengembangan perangkat pembelajaran. Analisis tren publikasi menunjukkan adanya peningkatan perhatian peneliti terhadap inovasi pembelajaran matematika yang memanfaatkan teknologi digital untuk meningkatkan kualitas proses dan hasil belajar. Hasil pemetaan jaringan kata kunci (*co-occurrence*) memperlihatkan bahwa kata kunci mathematics**,** education**,** technology, dan assessment berperan sebagai simpul utama yang menghubungkan berbagai klaster penelitian, sehingga mencerminkan keterkaitan yang kuat antara pengembangan perangkat pembelajaran, implementasi model pembelajaran, dan evaluasi hasil belajar. Visualisasi *overlay* juga menunjukkan adanya pergeseran fokus penelitian dari dominasi penelitian *Research and Development (R&D)* yang berorientasi pada validitas dan kepraktisan perangkat pembelajaran menuju penelitian eksperimen yang menguji efektivitas inovasi pembelajaran, serta berkembang ke arah integrasi teknologi, STEAM, budaya, dan lingkungan dalam pembelajaran matematika. Temuan ini menunjukkan bahwa arah riset pendidikan matematika bergerak menuju pendekatan yang lebih kolaboratif, multidisipliner, dan berbasis bukti (*evidence-based education*), dengan pemanfaatan teknologi sebagai penghubung utama dalam pengembangan inovasi pembelajaran abad ke-21.

Urgensi penelitian di masa mendatang terletak pada pengembangan model pembelajaran matematika yang mengintegrasikan Artificial Intelligence (AI), Learning Analytics, STEAM, dan Computational Thinking ke dalam perangkat pembelajaran adaptif yang didukung asesmen autentik berbasis data. Selain itu, diperlukan penelitian berskala luas melalui kolaborasi lintas institusi dan lintas negara dengan desain longitudinal untuk menghasilkan bukti empiris yang lebih kuat mengenai efektivitas inovasi pembelajaran matematika dalam meningkatkan kompetensi abad ke-21 dan mendukung terwujudnya pendidikan yang berkelanjutan.

REFERENSI

Adriani, F., Waluya, S. B., & Masduki, L. R. (2026). Self-regulated learning and critical thinking in socio-emotionally differentiated problem-based learning: A mixed-methods study in Indonesian junior secondary mathematics. International Journal of Mathematics and Sciences Education, 4(1), 1–12. https://doi.org/10.59965/ijmsed.v4i1.285

Akbar, S., Imamuddin, M., Rahmi, F., & Isnaniah. (2023). The effectiveness of innovative learning on mathematical problem-solving ability: Quasi-experimental. International Journal of Learning and Instruction, 4(2). https://doi.org/10.26418/ijli.v4i2.59784

Alreshidi, N. A. K., & Lally, V. (2024). The effectiveness of training teachers in problem-based learning implementation on students' outcomes: A mixed-method study. Humanities & Social Sciences

Communications, 11(1137). https://doi.org/10.1057/s41599-024-03638-6

Amaludin, R., Akib, I., & Sukmawati. (2025). Integrating technology in mathematics education: A research synthesis of learning outcomes and pedagogical implications. PPSDP International Journal of Education, 4(2). https://doi.org/10.59175/pijed.v4i2.738

Ambarwati, R., Febriana, A., Anggoro, B. S., & Putra, R. W. Y. (2022). The effectiveness of problem based learning aided by gamification teaching materials on students' mathematical problem solving ability. Jurnal Pendidikan MIPA, 23(3). https://doi.org/10.23960/jpmipa/v23i3.pp1278-1285

Aransado, J. E. (2026). Effectiveness of Technology-Integrated Problem-Based Learning (TIPBL) on students' mathematics performance: A meta-analysis. International Journal on Studies in Education, 8(3). https://doi.org/10.46328/ijonse.6662

Balacuit, I. C. P., & Oledan, A. M. B. (2024). A systematic review on ethnomathematics integration in secondary education. Journal of Education and Practice, 15(9). https://doi.org/10.7176/JEP/15-9-01

Batiibwe, M. S. K. (2024). The role of ethnomathematics in mathematics education: A literature review. Journal of Ethnomathematics, 3 (4). https://doi.org/10.1177/27527263241300400

Burns, M. K., Duesenberg-Marshall, M. D., Romero, M. E., Sussman-Dawson, K. J., & Singell, E. (2025). Meta-analysis of the effect of technology-based mathematical fact practice on mathematics outcomes. Learning Disability Quarterly, 48(3). https://doi.org/10.1177/01626434241288199

Cevikbas, M., Greefrath, G., & Siller, H.-S. (2023). Advantages and challenges of using digital technologies in mathematical modelling education: A descriptive systematic literature review. *Frontiers in Education, 8*(3). https://doi.org/10.3389/feduc.2023.1142556

Darmanova, Z., Abylkassymova, A., & Nurmukhamedova, Z. (2025). A systematic review of technology use in middle and high school mathematics education: Insights from contextual, methodological, and evaluation characteristics. *Frontiers in Education, 10*(2). https://doi.org/10.3389/feduc.2025.1644284

Elenawati, N., Rezeki, S., Istikomah, E., Effendi, L. A., & Susanti, M. (2024). Development of mathematics learning evaluation instruments based on Wordwall for phase E students. Mathematics Research and Education Journal, 8(2). https://doi.org/10.25299/mrej.2024.vol8(2).18250

Engelbrecht, J., & Borba, M. C. (2024). Recent developments in using digital technology in mathematics education. *ZDM – Mathematics Education, 56*(2024). https://doi.org/10.1007/s11858-023-01530-2

Faber, J. M., Luyten, H., & Visscher, A. J. (2020). Formative assessment with interactive whiteboards: A one-year longitudinal study of primary students' mathematical performance. Computers & Education, 15(103833). https://doi.org/10.1016/j.compedu.2020.103833

Fajri, N., Nursalim, M., & Masitoh, S. (2024). Systematic literature review: Dampak teknologi pendidikan terhadap pengembangan keterampilan berpikir kritis, kreatif, dan kolaboratif pada pembelajaran matematika. JTEKPEND, 4(1). https://doi.org/10.37304/jtekpend.v4i1.12083

Farias-Gaytan, S., Aguaded, I., & Ramirez-Montoya, M.-S. (2023). Digital transformation and digital literacy in the context of complexity within higher education institutions: A systematic literature review. *Humanities and Social Sciences Communications, 10*(1). https://doi.org/10.1057/s41599-023-01875-9

Fathurrahman, M., Pratiwi, P. D. R., Awairaro, M., Al-lahmadi, N., Silayar, S., & Djakaria, I. (2024). *Integrasi teknologi dalam pendidikan matematika: Wawasan dari tinjauan literatur sistematik*. KAMBIK: Journal of Mathematics Education, 2(1). https://doi.org/10.33506/jme.v2i1.3405

Fitriyah, I. M., Putro, N. H. P. S., & Apino, E. (2022). Meta analysis study: Effectiveness of problem based learning on Indonesian students' mathematical reasoning ability. Jurnal Riset Pendidikan Matematika, 9(1). https://doi.org/10.21831/jrpm.v9i1.46447

Fuad, A. S. (2022). Development of student worksheets (LKPD) using Problem Based Learning models on flat shape materials. Jurnal Riset Ilmu Pendidikan, 2(2), 88–92. https://doi.org/10.56495/jrip.v2i2.110

Garak, S. S., Samo, D. D., & Soko, I. P. (2026). Knowledge retention of students learning mathematics with culture and technology: A study of junior high school students. Infinity Journal, 15(2). https://doi.org/10.22460/infinity.v15i2.p509-528

Hajeniati, N., & Kaharuddin, A. (2022). Innovation of the problem based learning model with contextual teaching learning in mathematics learning in the Industrial Revolution 4.0 era: A comparative case study. International Journal of Trends in Mathematics Education Research, 5(2). https://doi.org/10.33122/ijtmer.v5i2.154

Hazrina, P. Z., Aisya, S., & Tashakhurin, A. (2026). Technology-based learning media on students' mathematics

learning outcomes: A systematic literature review. OMEGA: Jurnal Keilmuan Pendidikan Matematika, 5(2). https://doi.org/10.47662/jkpm.v5i2.1319

Higgins, K., Huscroft-D'Angelo, J., & Crawford, L. (2019). Effects of technology in mathematics on achievement, motivation, and attitude: A meta-analysis. Journal of Educational Computing Research, 57(2). https://doi.org/10.1177/0735633117748416

Huda, M. S., Isdaryanti, B., Ellianawati, & Rozi, F. (2025). Mapping the landscape of STEAM education (2021–2025): A bibliometric analysis of media, learning outcomes, and assessment practices. Pendas: Jurnal Ilmiah Pendidikan Dasar, 9(3). https://doi.org/10.23969/jp.v10i04.35572

Hwang, G.-J., & Tu, Y.-F. (2021). Roles and research trends of artificial intelligence in mathematics education: A bibliometric mapping analysis and systematic review. Mathematics, 9(6), https://doi.org/10.3390/math9060584

Isnawan, M. G., Pochulu, M. D., García-García, J., Alsulami, N. M., & Sudirman. (2025). *STEAM+X in mathematics education: A systematic literature review*. *Journal of Mathematics Instruction, Social Research and Opinion, 4*(2). https://doi.org/10.58421/misro.v4i2.451

Karampelas, K. (2023). Examining the relationship between TPACK and STEAM through a bibliometric study. European Journal of Science and Mathematics Education, 11(3), 488–498. https://doi.org/10.30935/scimath/12981

Kenjam, J., Nahak, S., & Simarmata, J. E. (2024). Pengembangan Lembar Kerja Peserta Didik materi peluang berbasis Realistic Mathematic Education. MATH-EDU: Jurnal Ilmu Pendidikan Matematika, 9(1). https://doi.org/10.32938/jipm.9.1.2024.413-426

Kholid, M. N., Hendriyanto, A., Sahara, S., et al. (2023). A systematic literature review of Technological, Pedagogical and Content Knowledge (TPACK) in mathematics education: Future challenges for educational practice and research. Cogent Education, 10(2). https://doi.org/10.1080/2331186X.2023.2269047

Kiswari, L., Singgih, S., & Muhlisin, A. (2022). STEM-based LKPD development and contextual problems to improve explanation, concluding, and evaluating skills. Phenomenon: Jurnal Pendidikan MIPA, 12(2). https://doi.org/10.21580/phen.2022.12.2.12061

Kurniati, R., Sugiarto, S., & Lestari. (2023). Systematic literature review of technology in mathematics learning during the last decade. 3(4) https://doi.org/10.24252/mapan.2023v11n2a12

Kurniawan, H., Kurniasih, N., Jumasa, M. H., & Smita, M. K. (2026). Enhancing mathematical critical thinking skills through the integration of ethnomathematics, augmented reality, artificial intelligence, and deep learning: A mixed-methods study. Jurnal Iqra': Kajian Ilmu Pendidikan, 11(1), 134–147. https://doi.org/10.25217/ji.v11i1.6673

Lafifa, F., Rosana, D., Suyanta, S., et al. (2023). Integrated STEM approach to improve 21st century skills in Indonesia: A systematic review. *International Journal of STEM Education for Sustainability, 3*(2), 252–267. https://doi.org/10.53889/ijses.v3i2.219

Marín-Marín, J.-A., Moreno-Guerrero, A.-J., Dúo-Terrón, P., & López-Belmonte, J. (2021). STEAM in education: A bibliometric analysis of performance and co-words in Web of Science. International Journal of STEM Education, 8(41). https://doi.org/10.1186/s40594-021-00296-x

Meylani, R. (2025). A critical glance at technology's role in mathematics education for a sustainable future: Advancing SDG 4 – Quality Education through a systematic review and qualitative synthesis. *Journal of Lifestyle and SDGs Review*. 5(2). https://doi.org/10.47172/2965-730X.SDGsReview.v5.n02.pe04566

Mukul, E., & Büyüközkan, G. (2023). Digital transformation in education: A systematic review of Education 4.0. Technological Forecasting and Social Change, *194*(122664). https://doi.org/10.1016/j.techfore.2023.122664

Munif, D. H., & Subali, B. (2025). Trends and mapping of STEAM-based interactive media: A systematic and bibliometric review. Unnes Science Education Journal, 14(3). https://doi.org/10.15294/usej.v14i3.34411

Navarro-Ibarra, L. A., Cuevas-Salazar, O., Acuña-Michel, L. L., & Valenzuela, J. (2025). Mathematics education and technology: Bibliometric analysis and systematic review (2000–2024). *Eurasia Journal of Mathematics, Science and Technology Education, 21*(3). https://doi.org/10.29333/ejmste/16072

Nurazmi, N., Bancong, H., Nurfadilah, N., & Yusal, Y. (2025). Mapping the evolution of STEAM education: A bibliometric analysis of global trends from 2016 to 2025. International Journal of Learning, Teaching and Educational Research, 24(9). https://doi.org/10.26803/ijlter.24.9.45

Nurhayati, S., Sudirman, S., Kartono, K., & Rodríguez-Nieto, C. A. (2026). Adaptive learning systems in mathematics education: An integrated bibliometric mapping and systematic literature review. Kalamatika: Jurnal Pendidikan Matematika, 11(1), 20–46. https://doi.org/10.22236/KALAMATIKA.vol11no1.2026pp20-46

Prate, J., Kong, J., Hoque, L., Sugita, T., & Belom, T. (2026). A meta-analysis of technology usage in word problem solving interventions for elementary students: An application of the SAMR model. Research and Practice in Technology Enhanced Learning, 21(001). https://doi.org/10.58459/rptel.2026.21001

Rahmi, H. (2023). Validity and practicality of online learner worksheets based on students' mathematical problem solving ability. Journal of Development and Innovation in Mathematics Education, 1(1), 1–10. https://doi.org/10.32939/jdime.v1i1.2312

Romandoni, H. R., Nurhasanah, F., & Maharani, S. (2025). Integration and evaluation of computational thinking in mathematics education: A systematic review of research 2016–2025. Mosharafa: Jurnal Pendidikan Matematika, 14(4). https://doi.org/10.31980/mosharafa.v14i4.3548

Sarman, A. A., Suastika, I. K., & Murniasih, T. R. (2023). Pengembangan E-LKPD untuk meningkatkan kemampuan pemecahan masalah matematis peserta didik pada materi bangun ruang sisi lengkung. Jurnal Tadris Matematika, 6(1), 49–66. https://doi.org/10.21274/jtm.2023.6.1.49-66

Sepdikasari, K. P., Martadiputra, B. A. P., & Jupri, A. (2026). Reimagining mathematics learning through technology: A systematic review on regulated learning practices and pedagogical implications. Multidisciplinary Reviews, 9(8). https://doi.org/10.31893/multirev.2026382

Sidabutar, N. A., Windasari, R., Dewi, I., & Surya, E. (2025). Pemanfaatan mixed method dalam studi kasus inovasi pembelajaran matematika di era digital. Pendas: Jurnal Ilmiah Pendidikan Dasar, 10(2). https://doi.org/10.23969/jp.v10i02.25575

Simamora, R. E., & Ramadhanta, S. A. (2024). Investigating the effects of Realistic Mathematics Education on mathematical creativity through a mixed-methods approach. Indonesian Journal of Science and Mathematics Education, 7(2), 337–360. https://doi.org/10.24042/ijsme.v7i2.21221

Solihati, A., Rahmawati, F., & Pamungkas, M. D. (2023). Pengembangan E-LKPD berbasis Realistic Mathematics Education (RME) untuk meningkatkan kemampuan pemecahan masalah matematis. Lebesgue: Jurnal Ilmiah Pendidikan Matematika, Matematika dan Statistika, 4(1), 54–64. https://doi.org/10.46306/lb.v4i1.197

St Omer, S. M., Evers, K., Wang, C.-Y., et al. (2025). Technology-enhanced mathematics learning: Review of the interactions between technological attributes and aspects of mathematics education from 2013 to 2022. Humanities and Social Sciences Communications, 12(1079). https://doi.org/10.1057/s41599-025-05475-7

Su, C. S., Díaz-Levicoy, D., Vásquez, C., & Hsu, C. C. (2023). Sustainable Development Education for training and service teachers teaching mathematics: A systematic review. *Sustainability, 15*(10), 8435. https://doi.org/10.3390/su15108435

Sugiharni, G. A. D., Jayendra, P. S., & Widiastiti, A. A. I. P. (2026). Technology-embedded local wisdom as a digital rubric for reflective mathematics assessment in vocational education. Jurnal Pembelajaran, Bimbingan, dan Pengelolaan Pendidikan, 6(6). https://doi.org/10.17977/um065.v6.i6.2026.5

Sukmawati, T. F., Susantini, E., Raharjo, R., & Ipek, A. S. (2025). Mapping the pedagogical integration of discovery learning and STEAM in enhancing students' critical thinking skills: A systematic literature review and bibliometric analysis. *Journal of Advanced Sciences and Mathematics Education, 5*(2). https://doi.org/10.58524/jasme.v5i2.1026

Sunzuma, G., & Umbara, U. (2025). Ethnomathematics-based technology in Indonesia: A systematic review. Asian Journal for Mathematics Education. Sage Open. 4(1). https://doi.org/10.1177/27527263241305812

Supriatna, I., Karjiyati, V., & Asmahasanah, S. (2022). Pengembangan lembar kerja peserta didik (LKPD) berbasis Realistic Mathematics Education (RME) untuk mengembangkan kemampuan berpikir kritis siswa. ALGORITMA: Journal of Mathematics Education, 3(2), 182–198. https://doi.org/10.15408/ajme.v3i2.23259

Tawa, M. G., Wangge, M. C. T., Bhoke, W., & Wewe, M. (2025). Development of LKPD based on a Realistic Mathematics Education approach to improve higher-level thinking abilities (HOTS). Desimal: Jurnal Matematika, 9(1). https://doi.org/10.24042/djm.v9i1.30843

Tupamahu, P. Z., Dasari, D., Priatna, N., & Lethulur, N. D. (2025). STEM and STEAM education in 1st decade: A

bibliometric analysis (2014–2025). Jurnal Magister Pendidikan Matematika, 7(1), 115–130. https://doi.org/10.30598/jumadikavol7iss1year2025page115-130

Usman, Z. Z., Priatna, N., Juandi, D., & Fitria, T. (2026). Digital game-based learning in mathematics learning with cultural contexts: A systematic literature review. Journal of Research and Advances in Mathematics Education, 11(2). https://doi.org/10.23917/jramathedu.v11i2.15463

Vásquez, C., Alsina, Á., Seckel, M. J., & García-Alonso, I. (2023). Integrating sustainability in mathematics education and statistics education: A systematic review. *EURASIA Journal of Mathematics, Science and Technology Education, 19*(11). https://doi.org/10.29333/ejmste/13809

Winardi, M. P. A., & Jupri, A. (2025). Implementation of folk games ethnomathematics in mathematics learning: A systematic literature review, Research and Development in Education (RaDEn). 5(2). https://doi.org/10.22219/raden.v5i2.41254

Yohannes, A., & Chen, H.-L. (2025). Technology-enhanced mathematics education (TEME): A bibliometric analysis. Technology, Pedagogy and Education. 35(2). https://doi.org/10.1080/1475939X.2025.2541960

Zakaria, M. I., Adnan, M. F., Osman, S., Alhassora, N. S. A., Hanafi, N. H., & Suhaimee, N. R. A. (2025). Mapping the landscape of digital pedagogies in mathematics education: A bibliometric study. International Journal of Education in Mathematics, Science and Technology. 14(2) https://doi.org/10.46328/ijemst.5417