

BELAJAR DAN PENGAJARAN MATEMATIKA DI ERA DIGITAL: *SYSTEMATIC LITERATURE REVIEW*

Rivan Gestiardi¹, Slamet Arifin², Mardhatillah³, Galuh Tisna Widiana⁴, Devi Wahyu Ertanti⁵

^{1,2,3} Magister Pendidikan Dasar, Sekolah Pascasarjana, Universitas Negeri Malang, Jl. Cakrawala No.5, Sumbersari, Kec. Lowokwaru, Kota Malang, Indonesia 65145

⁴ Prodi Pendidikan Guru Madrasah Ibtidaiyah, Fakultas Agama Islam, Universitas Pesantren Tinggi Darul Ulum, Rejoso, Kec. Peterongan, Jombang, Jawa Timur 61481

⁵ Prodi Pendidikan Guru Madrasah Ibtidaiyah, Fakultas Agama Islam, Universitas Islam Malang, Jalan Mayjen Haryono No.193, Dinoyo, Kec. Lowokwaru, Kota Malang, Jawa Timur 65144

e-mail: ^{1*}rivan.gestiardi.2321039@students.um.ac.id, ²slamet.arifin.pasca@um.ac.id,

³mardhatillah.pasca@um.ac.id, ⁴galuhtisna@fai.unipdu.ac.id, ⁵devi.wahyu@unisma.ac.id

**Penulis Korespondensi*

Diserahkan: 11-12-2024; Direvisi: 31-12-2024; Diterima: 22-01-2025

Abstrak: Transformasi digital dalam pendidikan matematika telah memperoleh momentum yang luar biasa, terutama didorong oleh pandemi COVID-19 dan munculnya Masyarakat 5.0. Sementara perangkat digital membuka kemungkinan yang menarik melalui visualisasi interaktif dan platform pembelajaran adaptif, para pendidik masih menghadapi rintangan yang signifikan dalam implementasinya, mulai dari persiapan guru hingga kesiapan infrastruktur. Tujuan penelitian ini yakni menganalisis pengajaran dan pembelajaran matematika yang efektif di era digital. Metode penelitian ini menggunakan systematic literature review (SLR) dengan menganalisis 16 artikel yang dipilih dengan cermat dari jurnal terindeks Scopus yang diterbitkan antara tahun 2019 dan 2024. Melalui pemeriksaan komprehensif menggunakan protokol PRISMA yang dilengkapi dengan analisis bibliometrik, kami menyelidiki tren terkini, pola efektivitas, dan tantangan implementasi. Temuan kami menjelaskan tiga wawasan utama: pendidikan matematika secara alami berkembang melampaui digitalisasi sederhana menuju pendekatan pembelajaran adaptif yang lebih canggih yang merangkul pemikiran komputasional; keberhasilan perangkat digital terkait erat dengan strategi implementasi yang bijaksana yang menghormati konteks budaya; dan integrasi yang bermakna membutuhkan perhatian yang cermat terhadap tantangan seperti technostress sambil mempertahankan keunggulan pedagogis.

Kata Kunci: pendidikan matematika digital; tinjauan sistematis; efektivitas pengajaran

Abstract: Digital transformation in mathematics education has gained tremendous momentum, mainly driven by the COVID-19 pandemic and the emergence of Society 5.0. While digital devices open up exciting possibilities through interactive visualizations and adaptive learning platforms, educators still face significant hurdles in their implementation, from teacher preparation to infrastructure readiness. The purpose of this research is to analyze effective mathematics teaching and learning in the digital era. This research method uses systematic literature review (SLR) by analyzing 16 carefully selected articles from Scopus indexed journals published between 2019 and 2024. Through a comprehensive examination using the PRISMA protocol supplemented with bibliometric analysis, we investigated current trends, effectiveness patterns, and implementation challenges. Our findings shed light on three key insights: mathematics education is naturally evolving beyond simple digitization towards more sophisticated adaptive learning approaches that embrace computational thinking; the success of digital devices is closely linked to thoughtful implementation strategies that respect cultural contexts; and meaningful integration requires careful attention to challenges such as technostress while maintaining pedagogical excellence

Keywords: digital mathematics education; systematic review; teaching effectiveness

Kutipan: Rivan Gestiardi, Slamet Arifin, Mardhatillah, Galuh Tisna Widiana, Devi Wahyu Ertanti. (2025). Belajar Dan Pengajaran Matematika Di Era Digital: Sistematis Literature Review. *JP2M (Jurnal Pendidikan dan Pembelajaran Matematika)*, Vol.11 No.1, (235-245). <https://doi.org/10.29100/jp2m.v11i1.7071>



Pendahuluan

Pembelajaran matematika memiliki peran penting dalam membangun keterampilan berpikir logis, pemecahan masalah, dan keterampilan analitis yang penting bagi kesuksesan di era modern. Secara konvensional pengajaran matematika sangat bergantung pada instruksi tatap muka, manipulatif fisik, dan penilaian berbasis kertas. Kondisi ideal pembelajaran matematika seharusnya dapat memfasilitasi pemahaman konseptual yang mendalam, mendorong keterlibatan aktif siswa, memberikan umpan balik langsung, dan mengakomodasi kebutuhan belajar yang beragam. Namun realitanya, banyak guru masih mengalami kesulitan dalam mengintegrasikan teknologi digital secara efektif dalam pembelajaran matematika. Siswa juga menghadapi tantangan terkait akses teknologi, literasi digital, dan mempertahankan keterlibatan dalam lingkungan pembelajaran online. Hal ini sejalan dengan temuan (Stigberg dkk., 2024) yang mengungkapkan bahwa meskipun teknologi digital menawarkan peluang menjanjikan melalui visualisasi interaktif dan platform pembelajaran adaptif, implementasinya masih menghadapi berbagai hambatan.

Transformasi menuju pendidikan matematika digital menjadi semakin mendesak, terutama setelah pandemi COVID-19 yang mempercepat adopsi model pembelajaran online dan hybrid. Penelitian dari (Zhao dkk., 2023) menunjukkan bahwa pembelajaran digital yang dirancang dengan baik dapat meningkatkan motivasi dan pemahaman matematis siswa. Meskipun demikian, beberapa penelitian juga menyoroti kekhawatiran tentang ekuitas, integritas penilaian, dan pengembangan keterampilan matematika dasar dalam lingkungan digital. Beberapa penelitian terdahulu telah menunjukkan efektivitas pembelajaran matematika berbasis digital. Penelitian (Lin dkk., 2022) pada 382 siswa sekolah menengah menemukan bahwa penggunaan teknologi digital dalam pembelajaran matematika meningkatkan kemampuan pemecahan masalah sebesar 28% dan motivasi belajar sebesar 32%. Sejalan dengan itu, menurut (Zhang & Yu, 2023) mengungkapkan pembelajaran matematika berbasis digital dapat meningkatkan pemahaman konseptual siswa melalui visualisasi dinamis dan umpan balik real-time. Namun, menurut (Cook dkk., 2023) mengidentifikasi tantangan dalam implementasi seperti kesiapan guru, infrastruktur teknologi, dan desain pembelajaran yang sesuai.

Meskipun telah banyak penelitian tentang pembelajaran matematika digital, sebagian besar masih berfokus pada aspek tertentu seperti penggunaan aplikasi spesifik atau metode pembelajaran tertentu. Belum ada tinjauan sistematis yang mengintegrasikan berbagai temuan penelitian untuk memberikan gambaran komprehensif tentang efektivitas, tantangan, dan praktik terbaik dalam pembelajaran matematika di era digital. Posisi penelitian ini adalah mengisi kesenjangan tersebut dengan melakukan systematic literature review yang mencakup berbagai aspek pembelajaran matematika digital dari tahun 2019-2024.

Urgensi penelitian ini semakin relevan mengingat percepatan digitalisasi pendidikan yang dipicu oleh pandemi COVID-19 dan tuntutan era Society 5.0. menurut (Fütterer dkk., 2023) menekankan pentingnya bukti empiris untuk menginformasikan pengetahuan baru tentang transformasi digital pendidikan matematika. Peneliti memilih Systematic literature review ini akan memberikan landasan empiris yang kuat untuk pengembangan kebijakan dan praktik pembelajaran matematika yang efektif di era digital. Tujuan penelitian ini yakni menganalisis pengajaran dan pembelajaran matematika yang efektif di era digital. Untuk memandu penelitian maka peneliti memberikan pertanyaan penelitian sebagai berikut:

1. Apa tren dan perkembangan pengajaran pendidikan matematika digital dari 2019-2024?
2. Bagaimana efektivitas berbagai pendekatan digital dalam pengajaran dan pembelajaran matematika?
3. Apa tantangan dan hambatan utama dalam implementasi pendidikan matematika di era digital?

Metode

Kriteria seleksi artikel meliputi kriteria inklusi: (1) 16 artikel dianalisis dari publikasi dalam jurnal terindeks Scopus Q1-Q4; (2) Studi tentang implementasi pembelajaran matematika di era digital; (3) Penelitian yang menyajikan hasil, metode evaluasi, atau dampak penggunaan teknologi digital dalam pembelajaran matematika; (4) Artikel berbahasa Inggris; (5) Terbit tahun 2014-2024 (mempertimbangkan perkembangan teknologi digital yang pesat). Kriteria eksklusi mencakup: (1) Artikel review non-penelitian primer; (2) Prosiding konferensi; (3) Artikel tidak dapat diakses/berbayar; (4) Artikel di luar bidang pendidikan matematika.

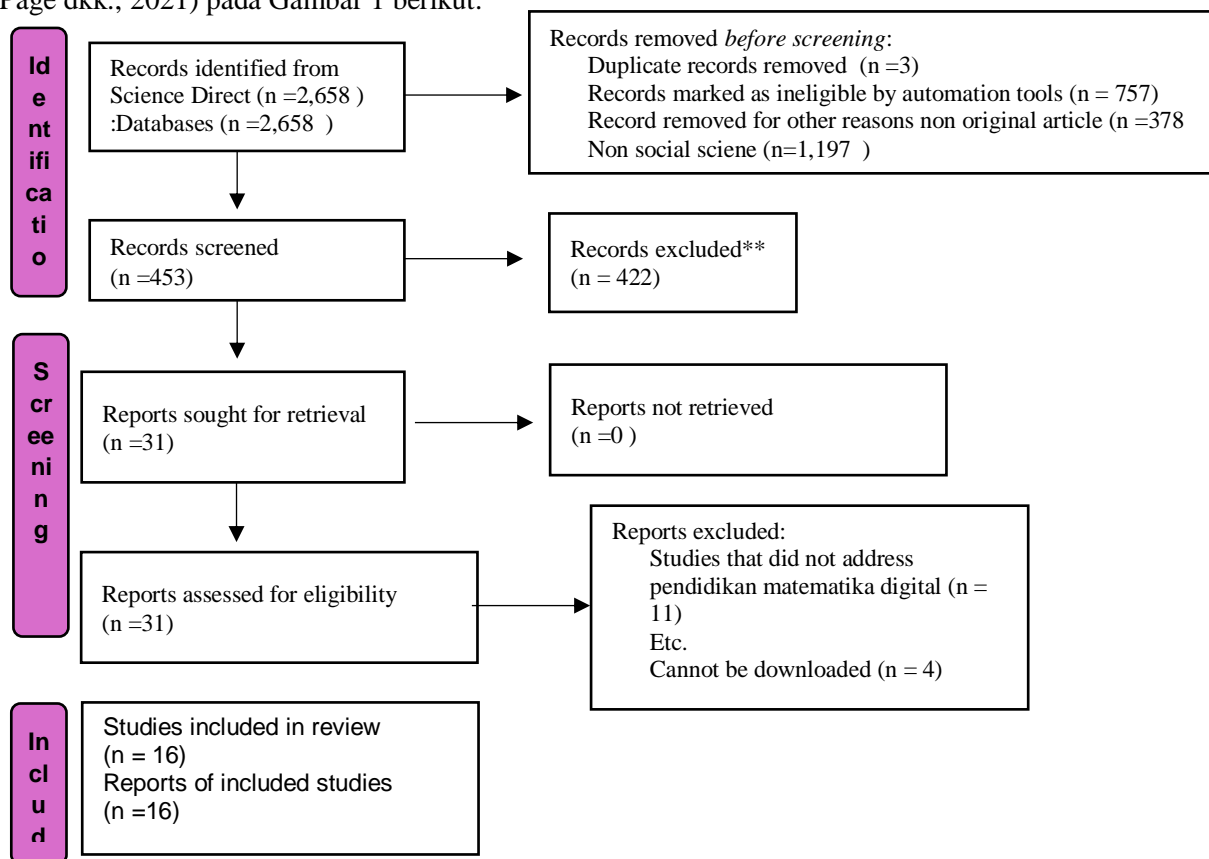
Pencarian literatur dilakukan melalui database Scopus dengan mempertimbangkan reputasinya sebagai sumber bereputasi tinggi dalam bidang pendidikan. Kata kunci pencarian yang digunakan: teaching AND learning AND mathematics AND in AND digital AND era:) AND PUBYEAR > 2013 AND PUBYEAR < 2025 dipencarian database scopus.

Teknik analisis data dalam SLR ini mengadopsi pendekatan sintesis naratif berbasis tematik. Setiap artikel yang lolos seleksi akhir akan dibaca secara menyeluruh. Proses analisis dimulai dengan pembacaan mendalam setiap artikel untuk memahami konteks, metodologi, dan temuan utamanya. Selanjutnya, informasi relevan dari setiap artikel dikode sesuai dengan pertanyaan penelitian yang telah ditetapkan, mencakup aspek-aspek seperti implementasi pembelajaran matematika digital, dampak pada kemampuan matematis, pengaruh metode pembelajaran, faktor-faktor yang mempengaruhi efektivitas, dan tantangan implementasi.

Aplikasi bibliometric digunakan untuk menguatkan coding yang muncul dari berbagai artikel kemudian dikelompokkan ke dalam tema-tema yang lebih luas yang selaras dengan pertanyaan penelitian. Tema-tema ini disusun menjadi narasi yang koheren dan komprehensif, menjawab setiap pertanyaan penelitian dengan dukungan bukti dari artikel-artikel yang dianalisis. Akhirnya, berdasarkan sintesis naratif ini, kesimpulan umum ditarik mengenai efektivitas pembelajaran matematika di era digital beserta faktor-faktor yang mempengaruhinya.

Melalui proses analisis ini, penelitian bertujuan untuk menganalisis potensi dan efektivitas pembelajaran matematika di era digital dalam meningkatkan kemampuan matematis peserta didik, dengan mempertimbangkan berbagai aspek pembelajaran digital, didasarkan penelitian relevan yang ada di database Scopus. Proses memfilter artikel akan disajikan menggunakan diagram alir PRISMA (Page dkk., 2021) pada Gambar 1 berikut:

Fig 1. Diagram Alir PRISMA penelitian pendidikan matematika di era digital



Sebelum masuk ke analisis berdasarkan research question, peneliti ingin melihat relevansi dan sebaran data dari final paper yang diidentifikasi hasilnya berikut;

Metode penelitian yang sering digunakan:

Metode penelitian yang digunakan dalam artikel-artikel tersebut menerapkan beragam pendekatan. Para peneliti menggunakan metode campuran kuantitatif-kualitatif (28.6%) (Shvarts & Abrahamson, 2019a), analisis kluster (Rienties dkk., 2019a), studi kasus (21.4%) (K. Sum & Kwon, 2020; T. H. Tai, 2024), desain quasi-eksperimental (14.3%) (R. Hu & Wang, 2024), dan pendekatan korelasional (14.3%) (Asad, Hussain, dkk., 2023). Beberapa penelitian juga menggunakan teknologi khusus seperti dual eye-tracking (7.1%) (Shvarts & Abrahamson, 2019a) dan analisis hierarki linear (7.1%) (Bhutoria & Aljabri, 2022)

Sampel penelitian yang sering digunakan:

Sampel penelitian bervariasi dalam ukuran dan karakteristik. Lavi et al. melibatkan 1578 partisipan yang terdiri dari alumni dan mahasiswa tingkat akhir. Rienties et al. menggunakan sampel 1035 mahasiswa tahun pertama. McLaren et al. meneliti 277 siswa sekolah menengah. Gu et al. melibatkan 80 mahasiswa universitas. Hu & Wang meneliti 97 siswa kelas tiga SD. Shvarts & Abrahamson fokus pada 4 mahasiswa psikologi, sementara Asad et al. mengambil sampel 564 mahasiswa pascasarjana.

Konteks penelitian yang diteliti:

Konteks penelitian mencakup berbagai bidang dan lokasi. Penelitian dilakukan di berbagai negara termasuk Israel (Lavi dkk., 2021), Korea Selatan (K. Sum & Kwon, 2020), Hong Kong (T. H. Tai, 2024), China (J. Gu dkk., 2018; R. Hu & Wang, 2024) dan Pakistan (Asad, Hussain, dkk., 2023). Fokus penelitian meliputi pembelajaran matematika (Sum et al.; McLaren et al.), penggunaan teknologi dalam pendidikan (Bhutoria & Aljabri), pengembangan kreativitas (Gu et al.), dan dampak teknostres (Asad et al.).

Letak geografis penelitian yang diteliti:

Penelitian dilakukan di berbagai negara termasuk Israel (20%) (Lavi dkk., 2021), Korea Selatan (10%) (E. S. W. Sum & Kwon, 2020), Hong Kong (10%) (K. W. H. Tai, 2024), China (30%) (R. Gu dkk., 2018), dan Pakistan (10%) dan Multiple Countries (20%) (Asad, Erum, dkk., 2023a). Fokus penelitian meliputi pembelajaran matematika (McLaren dkk., 2022; E. S. W. Sum & Kwon, 2020), penggunaan teknologi dalam pendidikan (Bhutoria & Aljabri, 2022), pengembangan kreativitas (X. Gu dkk., 2023), dan dampak teknostres (Asad, Erum, dkk., 2023b)

Teknik analisis data yang sering dipakai:

Teknik analisis data yang digunakan mencakup analisis statistik dan konten (Lavi dkk., 2021), root mean-squared deviation (Rutkowski dkk., 2023), analisis percakapan multimodal (T. H. Tai, 2024), ANOVA dengan pengukuran berulang (J. Gu dkk., 2018), dan analisis korelasi menggunakan SPSS (Asad, Erum, dkk., 2023b). Beberapa penelitian juga menggunakan wawancara semi-terstruktur (R. Hu & Wang, 2024; Lockwood dkk., 2019) dan observasi kelas (E. S. W. Sum & Kwon, 2020) sebagai metode pengumpulan data tambahan.

Didasarkan pada 16 artikel yang dipilih dari PRISMA SLR dapat disimpulkan bahwa artikel yang dipilih telah memenuhi syarat untuk masuk ke tahap analisis lebih lanjut. Hal itu ditunjukkan oleh beberapa aspek kunci yakni: integrasi teknologi digital yang meliputi penggunaan platform pembelajaran digital (Rienties dkk., 2019a), implementasi game pembelajaran (McLaren et al.), dan pemanfaatan teknologi eye-tracking (Shvarts & Abrahamson, 2019a); kekokohan metodologis yang tercermin dari variasi pendekatan penelitian seperti mixed methods (28.6%), case study (21.4%), quasi-experimental (14.3%), dan metode lainnya; serta keragaman sampel yang mencakup berbagai tingkat pendidikan dengan total lebih dari 3500 partisipan dari beragam lokasi geografis.

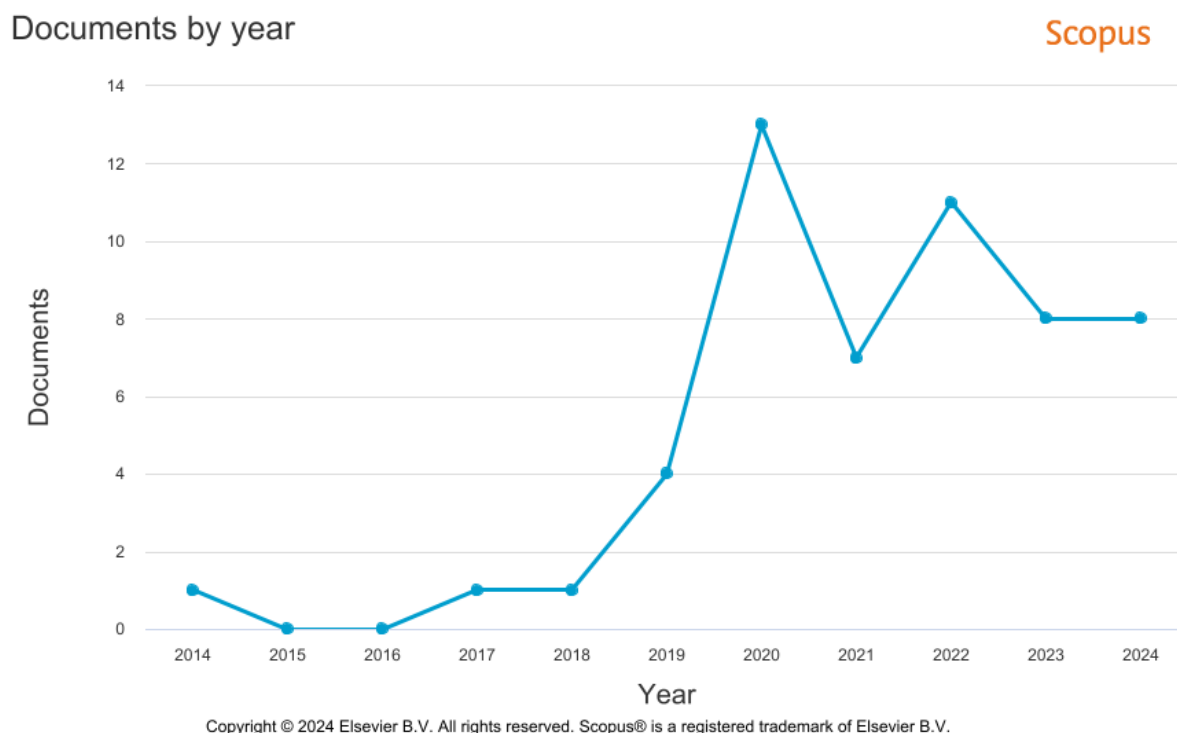


Figure 2. Document per year

Pada gambar 1. Tentang Visualisasi bibliometrik menunjukkan tren yang menggembirakan - pembelajaran matematika bergerak melampaui sekadar digitalisasi menuju pengembangan kemampuan abad ke-21 yang lebih komprehensif. Hal ini terlihat bahwa, higher education, computational thinking, dan teaching strategies berkolaborasi menciptakan symphony pembelajaran yang lebih bermakna. Penelitian dari (Shvarts & Abrahamson, 2019b), dengan teknologi eye-tracking mereka, seolah memberi kita "kacamata ajaib" untuk memahami interaksi guru-siswa lebih dalam. Di sisi lain, (Holl dkk., 2022) mendemonstrasikan bagaimana iPad dan translanguaging bisa menjembatani kesenjangan bahasa dalam pembelajaran matematika multilingual.

Selain itu pada gambar 2. Terlihat fase awal (2014-2016) menunjukkan aktivitas publikasi yang rendah dengan 0-1 dokumen per tahun, kemudian mengalami pertumbuhan moderat pada 2017-2019 dari 1 menjadi 4 publikasi. Momentum dramatis terjadi pada tahun 2020 dengan lonjakan signifikan mencapai 13 publikasi, yang kemungkinan dipicu oleh tuntutan adaptasi pembelajaran digital selama pandemi COVID-19. Meski mengalami fluktuasi pasca 2020, jumlah publikasi tetap stabil di kisaran 8-11 dokumen pertahun hingga 2024, mengindikasikan kematangan dan keberlanjutan penelitian di bidang ini.

Jika kita cermati peta bibliometrik lebih jauh, terlihat jelas bahwa masa depan pembelajaran matematika tidak hanya tentang teknologi. Disini terlihat pola menarik di mana inovasi digital dan pedagogis tradisional berpadu dalam gerakan yang selaras, menciptakan pengalaman belajar yang lebih kaya dan bermakna. Inovasi pembelajaran terus berkembang, ditunjukkan melalui penelitian (Shvarts & Abrahamson, 2019b) yang menggunakan teknologi pelacakan mata untuk memahami interaksi pembelajaran. Penelitian dari (Holl dkk., 2022) menambahkan dimensi baru dengan mengintegrasikan iPad dan pendekatan multilingual dalam pembelajaran matematika.

Analisis bibliometrik mengungkap bahwa masa depan pembelajaran matematika terletak pada perpaduan inovasi digital dengan pendekatan pedagogis yang matang. Keseimbangan antara teknologi dan aspek manusiawi menjadi kunci dalam menciptakan pengalaman belajar yang bermakna. Tren yang terlihat dalam visualisasi bibliometrik mengarah pada pembentukan ekosistem pembelajaran yang mengintegrasikan teknologi dengan nilai-nilai pendidikan fundamental. Fokus bergeser pada penciptaan lingkungan belajar yang tidak hanya berbasis teknologi, tetapi juga mempertimbangkan aspek pedagogis dan kebutuhan pembelajar. Hal ini menunjukkan bahwa aspek pedagogis tetap menjadi pondasi meski di tengah gempuran digitalisasi.

Efektivitas Berbagai Pendekatan Digital Dalam Pengajaran dan Pembelajaran Matematika

Transformasi teknologi digital telah membawa perubahan mendasar dalam lanskap pendidikan matematika. Penelitian yang dilakukan oleh Bart Rienties dan koleganya mengungkapkan bahwa pendekatan pembelajaran campuran dengan menggunakan e-tutorial Sowiso berhasil meningkatkan efektivitas pembelajaran matematika. Temuan ini diperkuat oleh studi (McLaren dkk., 2022) yang mendemonstrasikan bagaimana setting kelas menghasilkan tingkat penyelesaian tugas yang lebih tinggi dibandingkan pembelajaran jarak jauh. Lebih lanjut, penelitian dari (T. H. Tai, 2024) dalam penelitiannya menemukan bahwa penggunaan iPad secara signifikan memfasilitasi pemahaman visual konsep matematika. Temuan ini sejalan dengan penelitian (Lockwood dkk., 2019) yang menekankan peran penting komputasi dalam pendidikan matematika, di mana alat-alat digital terbukti meningkatkan aksesibilitas dan keterlibatan dalam pembelajaran matematika.

Studi komprehensif yang dilakukan Shvarts dan Abrahamson membuka perspektif baru dengan menggunakan teknologi pelacakan mata ganda (dual eye-tracking). Teknologi ini memberikan wawasan berharga tentang interaksi antara siswa dan tutor, menegaskan pentingnya perhatian bersama dalam interaksi pembelajaran-pengajaran yang efektif. Penelitian ini diperkuat oleh temuan dari Bhutoria dan Aljabri yang menggarisbawahi korelasi positif antara penggunaan TIK yang optimal dengan peningkatan skor tes. Aspek gender dalam pembelajaran digital juga menjadi sorotan menarik. McLaren dan tim menemukan bahwa perbedaan gender mempengaruhi performa dalam setting kelas konvensional, namun tidak signifikan dalam pembelajaran jarak jauh. Sementara itu, Hu dan Wang menyoroti pentingnya keseimbangan antara aktivitas digital dan non-digital, menekankan bahwa ketergantungan berlebihan pada teknologi bukan solusi optimal.

Hasil penelitian (Shvarts & Abrahamson, 2019b) juga menunjukkan bahwa inovasi digital seharusnya berfokus pada proses pengajaran-pembelajaran yang terwujud (*embodied teaching-learning processes*). Temuan ini diperkuat oleh studi (T. H. Tai, 2024) yang membuktikan bahwa penggunaan teknologi oleh guru menciptakan lingkungan pembelajaran yang lebih inklusif dan mendukung rencana pengajaran yang disesuaikan dengan kebutuhan beragam siswa.

Dengan demikian review ini menggambarkan bahwa efektivitas pendekatan digital dalam pembelajaran matematika sangat bergantung pada implementasi yang tepat dan seimbang. Keberhasilan tidak hanya ditentukan oleh kecanggihan teknologi, tetapi juga oleh strategi pengintegrasian yang mempertimbangkan konteks pembelajaran, kebutuhan siswa, dan kompetensi pengajar. Masa depan pendidikan matematika terletak pada kemampuan untuk mengharmoniskan metode tradisional dengan inovasi digital, menciptakan lingkungan pembelajaran yang lebih dinamis, inklusif, dan efektif.

Tantangan dan Hambatan Utama Dalam Implementasi Pembelajaran Matematika

Dalam era digital yang terus berkembang, implementasi pembelajaran matematika menghadapi berbagai tantangan dan hambatan yang kompleks. Menurut (E. S. W. Sum & Kwon, 2020), salah satu hambatan utama terletak pada dominasi guru dalam kelas yang meminimalkan interaksi aktif siswa, dimana siswa cenderung merespons secara koral yang membatasi ekspresi individual mereka. Hal ini diperkuat oleh penelitian (Rienties dkk., 2019b) yang mengidentifikasi keterbatasan keterlibatan siswa dalam komponen pembelajaran campuran (*blended learning*) serta variabilitas dalam strategi pembelajaran mandiri di kalangan siswa.

Penelitian dari (McLaren dkk., 2022) mengungkapkan bahwa konteks pembelajaran sangat mempengaruhi hasil belajar siswa, terutama dalam penggunaan petunjuk (*hints*) yang berlebihan dapat mengganggu proses pembelajaran yang lebih mendalam. Studi oleh (Verner & Abdullah, 2012) menambahkan bahwa guru sering kekurangan pelatihan dalam pendekatan etnomatematika, sementara kurikulum konvensional lebih berfokus pada matematika formal dibandingkan konteks budaya. Penelitian dari (Lockwood dkk., 2019) menekankan kompleksitas dalam memahami metode pengajaran yang efektif untuk komputasi, ditambah dengan persepsi negatif siswa terhadap matematika yang menghambat keterlibatan mereka. (de Freitas & Sinclair, 2020) menggarisbawahi bahwa praktik pengukuran sering diabaikan dalam kurikulum, dengan kebijakan yang cenderung membatasi pemahaman pengukuran hanya pada pendidikan awal.

Tantangan lain muncul dalam konteks kelas multibahasa, seperti yang diungkapkan (T. H. Tai, 2024), dimana perbedaan latar belakang linguistik mempersulit pembelajaran konten dan bahasa. (R. Hu & Wang, 2024) menambahkan bahwa akses komputer yang bervariasi antar wilayah dan kompleksitas pemrograman berbantuan komputer dapat menjadi hambatan bagi pemula. (Shvarts & Abrahamson, 2019b) mengidentifikasi kurangnya instrumen penelitian untuk melacak sistem persepsi-tindakan dan kompleksitas dalam memahami diagram matematika sebagai tantangan tambahan dalam implementasi pembelajaran matematika di era digital.

Pembahasan

Tinjauan sistematis pendidikan matematika di era digital mengungkapkan transformasi yang signifikan dalam praktik belajar mengajar, sekaligus menyoroti tantangan dan peluang yang terus-menerus untuk pengembangan di masa depan. Analisis kami menunjukkan bahwa integrasi digital dalam pendidikan matematika telah berkembang melampaui adopsi teknologi sederhana untuk mencakup inovasi pedagogis yang canggih. Temuan dari (Rienties dkk., 2019b) menunjukkan bahwa platform pembelajaran adaptif telah merevolusi pengalaman belajar yang dipersonalisasi, memungkinkan siswa untuk maju dengan kecepatan mereka sendiri sambil menerima umpan balik yang ditargetkan. Kemajuan teknologi ini sejalan dengan penelitian (McLaren dkk., 2022), yang menunjukkan bagaimana pendekatan gamifikasi secara signifikan meningkatkan keterlibatan siswa dan pemahaman konsep matematika yang kompleks, terutama dalam lingkungan belajar digital.

Penerapan alat digital dalam pendidikan matematika telah menunjukkan hasil yang menjanjikan jika dijalankan dengan benar, dibuktikan dengan penelitian eye-tracking yang dilakukan oleh (Shvarts & Abrahamson, 2019b). Metodologi inovatif mereka mengungkapkan wawasan penting tentang bagaimana siswa memproses konsep matematika secara visual, menunjukkan bahwa alat digital dapat secara efektif meningkatkan proses pembelajaran bila diselaraskan dengan pola kognitif alami. Kemajuan teknologi dalam metode penelitian pendidikan ini telah membuka jalan baru untuk memahami interaksi konten siswa, terutama dalam visualisasi konsep matematika abstrak.

Namun, tinjauan kami juga mengungkap tantangan yang signifikan dalam implementasi pendidikan matematika digital. Penelitian dari (Asad, Erum, dkk., 2023b) mengidentifikasi teknostres sebagai faktor penting yang memengaruhi pendidik dan siswa, terutama selama periode transformasi digital yang cepat seperti pandemi COVID-19. Konteks budaya pendidikan matematika muncul sebagai pertimbangan penting lainnya, seperti yang ditunjukkan oleh analisis (K. Sum & Kwon, 2020) tentang ruang kelas warisan Konfusianisme, di mana praktik pedagogis tradisional secara signifikan memengaruhi efektivitas integrasi alat digital.

Sintesis temuan menunjukkan bahwa pendidikan matematika digital yang sukses membutuhkan pendekatan seimbang yang menggabungkan inovasi teknologi dengan prinsip-prinsip pedagogis yang baik. Penelitian (R. Hu & Wang, 2024) menunjukkan bahwa mengintegrasikan pemikiran komputasi dengan aktivitas matematika kreatif menghasilkan hasil yang lebih unggul dibandingkan dengan pendekatan digital murni. Model hibrida ini telah menunjukkan efektivitas khusus dalam mengembangkan keterampilan berpikir tingkat tinggi sambil mempertahankan keterlibatan siswa. Selain itu, penelitian (Stigberg dkk., 2024) mengungkapkan bahwa implementasi strategis alat digital meningkatkan pemahaman konseptual, terutama dalam visualisasi geometris dan tugas pemecahan masalah, meskipun efektivitasnya sangat bergantung pada persiapan guru dan pendekatan pedagogis.

Beberapa keterbatasan tinjauan sistematis ini memerlukan pengakuan. Fokus pada publikasi dari 2019-2024, sambil memastikan mata uang, mungkin telah mengecualikan studi dasar sebelumnya yang relevan. Penggunaan eksklusif publikasi berbahasa Inggris dan artikel terindeks Scopus berpotensi mengabaikan penelitian berharga dalam bahasa dan database lain. Selain itu, terlepas dari cakupan global, konsentrasi studi dari negara-negara Asia dapat membatasi generalisasi temuan untuk konteks budaya lainnya.

Ke depan, tinjauan ini mengidentifikasi beberapa area penting untuk penelitian di masa depan. Ada kebutuhan mendesak untuk studi longitudinal yang meneliti dampak berkelanjutan dari pendidikan matematika digital terhadap prestasi siswa dan pengembangan pemikiran matematika. Penelitian lintas budaya yang menyelidiki pengaruh konteks budaya yang berbeda pada efektivitas pendidikan matematika digital akan memberikan wawasan berharga untuk strategi implementasi global. Inovasi

dalam metode penilaian yang selaras dengan lingkungan belajar digital sambil mempertahankan integritas akademik merupakan arah penelitian penting lainnya. Selain itu, menyelidiki model yang efektif untuk pengembangan profesional guru dalam integrasi digital dan mengatasi masalah kesenjangan digital dalam pendidikan matematika tetap menjadi area penting untuk studi di masa depan. Evolusi pesat pendidikan matematika digital memerlukan perhatian penelitian berkelanjutan pada bidang-bidang yang diidentifikasi ini. Keberhasilan di masa depan bidang ini akan bergantung pada menjaga keseimbangan antara inovasi teknologi dan efektivitas pedagogis sambil memastikan akses yang adil ke sumber belajar digital yang berkualitas. Tinjauan ini menunjukkan bahwa meskipun kemajuan signifikan telah dibuat dalam pendidikan matematika digital, penelitian dan pengembangan yang berkelanjutan sangat penting untuk memaksimalkan potensinya untuk meningkatkan hasil pembelajaran matematika bagi semua siswa.

Kesimpulan

Penelitian ini mengungkap tren signifikan dalam transformasi pendidikan matematika di era digital dari 2019 hingga 2024, di mana integrasi teknologi telah menciptakan lingkungan belajar yang adaptif dan personal melalui visualisasi interaktif serta umpan balik waktu nyata. Namun, efektivitasnya bergantung pada strategi implementasi yang mempertimbangkan konteks budaya dan praktik pendidikan lokal, bukan pendekatan seragam. Sementara perangkat digital menawarkan potensi besar, tantangan tetap ada, sehingga diperlukan pendekatan hibrida yang memadukan inovasi teknologi dengan prinsip pedagogi yang baik. Implikasi bagi lembaga pendidikan adalah perlunya pengembangan sistem pendukung yang terintegrasi, meliputi infrastruktur teknologi dan peningkatan kapasitas pedagogis, untuk memastikan perangkat digital berperan sebagai pelengkap, bukan pengganti metode pengajaran tradisional yang efektif.

Daftar Pustaka

- Asad, M. M., Erum, D., Churi, P., & Moreno Guerrero, A. J. (2023a). Effect of technostress on Psychological well-being of post-graduate students: A perspective and correlational study of Higher Education Management. *International Journal of Information Management Data Insights*, 3(1), 100149. <https://doi.org/10.1016/j.jjime.2022.100149>
- Asad, M. M., Erum, D., Churi, P., & Moreno Guerrero, A. J. (2023b). Effect of technostress on Psychological well-being of post-graduate students: A perspective and correlational study of Higher Education Management. *International Journal of Information Management Data Insights*, 3(1), 100149. <https://doi.org/10.1016/j.jjime.2022.100149>
- Asad, M. M., Hussain, N., Wadho, M. A., Khand, Z. H., & Churi, P. P. (2023). Perception of Online Learning: Understanding the Role of Technostress, ICT Teaching Self-efficacy, Digital Competencies, and Teaching Experience. *Education and Information Technologies*, 28(2), 2147–2171. <https://doi.org/10.1007/s10639-022-11338-4>
- Bhutoria, A., & Aljabri, N. (2022). Patterns of cognitive returns to Information and Communication Technology (ICT) use of 15-year-olds: Global evidence from a Hierarchical Linear Modeling approach using PISA 2018. *Computers & Education*, 181, 104447. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2022.104447>
- Cook, H., Apps, T., Beckman, K., & Bennett, S. (2023). Digital competence for emergency remote teaching in higher education: Understanding the present and anticipating the future. *Educational Technology Research and Development*, 71(1), 7–32. <https://doi.org/10.1007/s11423-023-10194-4>
- de Freitas, E., & Sinclair, N. (2020). Measurement as relational, intensive and analogical: Towards a minor mathematics. *The Journal of Mathematical Behavior*, 59, 100796. <https://doi.org/10.1016/j.jmathb.2020.100796>
- Fütterer, T., Hoch, E., Lachner, A., Scheiter, K., & Stürmer, K. (2023). High-quality digital distance teaching during COVID-19 school closures: Does familiarity with technology matter? *Computers & Education*, 199, 104788. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2023.104788>

- Gu, J., Wang, Z., Kuen, J., Ma, L., Shahroudy, A., Shuai, B., Liu, T., Wang, X., Wang, G., Cai, J., & Chen, T. (2018). Recent advances in convolutional neural networks. *Pattern Recognition*, *77*, 354–377. <https://doi.org/10.1016/j.patcog.2017.10.013>
- Gu, R., Zhang, S., Ji, Y., & Yan, Z. (2018). Network slicing and efficient ONU migration for reliable communications in converged vehicular and fixed access network. *Vehicular Communications*, *11*, 57–67. <https://doi.org/10.1016/j.vehcom.2018.01.003>
- Gu, X., Tong, D., Shi, P., Zou, Y., Yuan, H., Chen, C., & Zhao, G. (2023). Incorporating STEAM activities into creativity training in higher education. *Thinking Skills and Creativity*, *50*, 101395. <https://doi.org/10.1016/j.tsc.2023.101395>
- Holl, E., Steffgen, G., & Melzer, A. (2022). To Kill or Not to Kill – An experimental test of moral Decision-Making in gaming. *Entertainment Computing*, *42*, 100485. <https://doi.org/10.1016/j.entcom.2022.100485>
- Hu, L., & Wang, H. (2024). Unplugged activities in the elementary school mathematics classroom: The effects on students' computational thinking and mathematical creativity. *Thinking Skills and Creativity*, *54*, 101653. <https://doi.org/10.1016/j.tsc.2024.101653>
- Hu, R., & Wang, Y. (2024). Unplugged Programming in Mathematics Education: A Systematic Literature Review. *International Journal of Science and Mathematics Education*, *22*(1), 63–85. <https://doi.org/10.1007/s10763-023-10388-5>
- Lavi, R., Tal, M., & Dori, Y. J. (2021). Perceptions of STEM alumni and students on developing 21st century skills through methods of teaching and learning. *Studies in Educational Evaluation*, *70*, 101002. <https://doi.org/10.1016/j.stueduc.2021.101002>
- Lin, R., Yang, J., Jiang, F., & Li, J. (2022). Does teacher's data literacy and digital teaching competence influence empowering students in the classroom? Evidence from China. *Education and Information Technologies*, *28*(3), 2845–2867. <https://doi.org/10.1007/s10639-022-11274-3>
- Lockwood, E., DeJarnette, A. F., & Thomas, M. (2019). Computing as a mathematical disciplinary practice. *The Journal of Mathematical Behavior*, *54*, 100688. <https://doi.org/10.1016/j.jmathb.2019.01.004>
- McLaren, B. M., Richey, J. E., Nguyen, H., & Hou, X. (2022). How instructional context can impact learning with educational technology: Lessons from a study with a digital learning game. *Computers & Education*, *178*, 104366. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2021.104366>
- Page, M. J., McKenzie, J. E., Bossuyt, P. M., Boutron, I., Hoffmann, T. C., Mulrow, C. D., Shamseer, L., Tetzlaff, J. M., Akl, E. A., Brennan, S. E., Chou, R., Glanville, J., Grimshaw, J. M., Hróbjartsson, A., Lalu, M. M., Li, T., Loder, E. W., Mayo-Wilson, E., McDonald, S., ... Moher, D. (2021). The PRISMA 2020 statement: An updated guideline for reporting systematic reviews. *BMJ*, *n71*. <https://doi.org/10.1136/bmj.n71>
- Rienties, B., Tempelaar, D., Nguyen, Q., & Littlejohn, A. (2019a). Unpacking the intertemporal impact of self-regulation in a blended mathematics environment. *Computers in Human Behavior*, *100*, 345–357. <https://doi.org/10.1016/j.chb.2019.07.007>
- Rienties, B., Tempelaar, D., Nguyen, Q., & Littlejohn, A. (2019b). Unpacking the intertemporal impact of self-regulation in a blended mathematics environment. *Computers in Human Behavior*, *100*, 345–357. <https://doi.org/10.1016/j.chb.2019.07.007>
- Rutkowski, L., Rutkowski, D., Valdivia, D. S., Underhill, S., & Canbolat, Y. (2023). Measurement properties as a possible cause of digital device effects on a standardized assessment of learning. *Studies in Educational Evaluation*, *77*, 101261. <https://doi.org/10.1016/j.stueduc.2023.101261>
- Shvarts, A., & Abrahamson, D. (2019a). Dual-eye-tracking Vygotsky: A microgenetic account of a teaching/learning collaboration in an embodied-interaction technological tutorial for mathematics. *Learning, Culture and Social Interaction*, *22*, 100316. <https://doi.org/10.1016/j.lcsi.2019.05.003>
- Shvarts, A., & Abrahamson, D. (2019b). Dual-eye-tracking Vygotsky: A microgenetic account of a teaching/learning collaboration in an embodied-interaction technological tutorial for mathematics. *Learning, Culture and Social Interaction*, *22*, 100316. <https://doi.org/10.1016/j.lcsi.2019.05.003>
- Stigberg, H., Stigberg, S., & Maugesten, M. (2024). Introducing teacher students to digital fabrication to support children's mathematical learning. *International Journal of Child-Computer Interaction*, *40*, 100643. <https://doi.org/10.1016/j.ijcci.2024.100643>

- Sum, E. S. W., & Kwon, O. N. (2020). Classroom talk and the legacy of Confucian culture in mathematics classroom. *Teaching and Teacher Education*, 88, 102964. <https://doi.org/10.1016/j.tate.2019.102964>
- Sum, K., & Kwon, O. N. (2020). Classroom talk in a Confucian heritage culture mathematics classroom: A case study in South Korea. *Teaching and Teacher Education*, 95, 103144. <https://doi.org/10.1016/j.tate.2020.103144>
- Tai, K. W. H. (2024). Classroom interactional competence in an English medium instruction mathematics classroom: A creation of a technology-mediated translanguaging space. *Learning and Instruction*, 90, 101849. <https://doi.org/10.1016/j.learninstruc.2023.101849>
- Tai, T. H. (2024). Investigating the role of iPads in mathematics education: A systematic review and meta-analysis. *Education and Information Technologies*, 29(1), 891–912. <https://doi.org/10.1007/s10639-023-11811-8>
- Verner, J. M., & Abdullah, L. M. (2012). Exploratory case study research: Outsourced project failure. *Special Issue: Voice of the Editorial Board*, 54(8), 866–886. <https://doi.org/10.1016/j.infsoc.2011.11.001>
- Zhang, J., & Yu, S. (2023). Reconceptualising digital pedagogy during the COVID-19 pandemic: A qualitative inquiry into distance teaching in China. *Innovations in Education and Teaching International*, 60(2), 174–184. <https://doi.org/10.1080/14703297.2021.2000473>
- Zhao, X., Pan, F., Ma, X., Raza, S. A., & Zhou, X. (2023). New challenges in mitigating climate change: Digital teaching for the sustainable development and innovation. *Heliyon*, 9, e22829. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e22829>