

Peran Teknologi Pembelajaran Matematika dalam Mendukung Implementasi Deep Learning

Mohammad Nurwahid

Institut Alif Muhammad Imam Syafi'i, Lamongan

mohammadnurwahid@inamis.ac.id

Indonesia

Abstrak— Penelitian ini mengkaji kontribusi teknologi digital dalam memperkuat penerapan deep learning pada pembelajaran matematika melalui studi literatur terhadap artikel nasional dan internasional periode 2020–2025. Kajian difokuskan pada penggunaan teknologi visualisasi seperti Desmos, GeoGebra, dan augmented reality, pemanfaatan kecerdasan buatan serta learning analytics, penerapan pendekatan *Realistic Mathematics Education* (RME) berbasis teknologi, dan penggunaan platform kolaboratif daring. Temuan menunjukkan bahwa visualisasi interaktif membantu siswa memahami konsep abstrak, AI mendukung umpan balik adaptif dan pembelajaran yang dipersonalisasi, RME berbasis teknologi menghubungkan konsep matematika dengan konteks nyata, serta platform kolaboratif meningkatkan komunikasi dan refleksi matematis. Meskipun demikian, efektivitas integrasi teknologi sangat bergantung pada kesiapan guru, tingkat literasi digital, dan dukungan kurikulum serta institusi. Oleh karena itu, teknologi berperan sebagai mitra pedagogis yang strategis dalam memperdalam pemahaman matematis siswa.

Kata kunci— *Pembelajaran Matematika, Teknologi Digital, Deep Learning*

I. PENDAHULUAN (JUDUL I)

Perkembangan teknologi digital dalam dekade terakhir telah membawa perubahan signifikan dalam dunia pendidikan, khususnya pada pembelajaran matematika. Integrasi teknologi tidak hanya berfungsi sebagai media bantu visualisasi, tetapi juga mendorong terbentuknya *deep learning* yang menekankan pada pemahaman bermakna, berpikir kritis, serta kemampuan pemecahan masalah tingkat tinggi (1,2). Dalam konteks ini, pembelajaran matematika tidak lagi cukup hanya menekankan hafalan rumus, melainkan perlu diarahkan pada pengalaman belajar yang memungkinkan siswa mengeksplorasi konsep secara lebih mendalam melalui integrasi teknologi inovatif.

Sejumlah penelitian menunjukkan bahwa penerapan *deep learning* dalam pendidikan matematika mampu meningkatkan motivasi, kepercayaan diri, hingga prestasi belajar siswa. Misalnya, pendekatan *Realistic Mathematics Education* (RME) berbasis teknologi terbukti efektif dalam menghubungkan konsep abstrak dengan kehidupan nyata sehingga memperkuat makna pembelajaran (3,4). Demikian pula, penggunaan media interaktif berbasis *deep learning* mendorong siswa SD untuk mengembangkan rasa ingin tahu, keterampilan berpikir kritis, serta kemampuan pemecahan masalah matematis (5,6).

Integrasi teknologi mutakhir, seperti *Artificial Intelligence* (AI), *Learning Analytics*, *Augmented Reality* (AR), dan *Virtual Reality* (VR), semakin memperkaya peluang penerapan *deep learning* dalam pembelajaran. AI dan *machine learning*, misalnya, tidak hanya bermanfaat dalam ranah kesehatan melalui prediksi penyakit (7), tetapi juga membuka jalan baru dalam personalisasi pembelajaran matematika sesuai gaya belajar siswa (8,9). Selain itu, pemanfaatan AR dan VR dalam pendidikan terbukti meningkatkan keterlibatan siswa melalui pengalaman belajar imersif yang memicu kemampuan berpikir kreatif dan kolaboratif (10,11). Namun, penerapan *deep learning* melalui integrasi teknologi matematika tidak terlepas dari berbagai tantangan. Hambatan utama yang dihadapi sekolah adalah keterbatasan infrastruktur TIK, literasi digital guru, serta kekhawatiran etis terkait privasi data dalam penggunaan *learning analytics* (12,13). Selain itu, kurikulum yang masih cenderung berfokus pada pencapaian kognitif dasar sering kali belum sepenuhnya mendukung pembelajaran bermakna berbasis teknologi (14,15).

Meskipun demikian, peluang yang dihasilkan jauh lebih besar. Integrasi teknologi matematika dengan pendekatan *deep learning* berpotensi mencetak generasi pembelajar abad ke-21 yang memiliki keterampilan berpikir kritis, kreatif, kolaboratif, dan komunikatif (4C). Dengan dukungan strategi pedagogik yang tepat, guru dapat memanfaatkan teknologi inovatif untuk memperkuat hubungan antara teori dan praktik, membangun motivasi intrinsik siswa, serta menciptakan pengalaman belajar yang adaptif dan personal (16,17).

Berdasarkan uraian tersebut, jelas bahwa peningkatan implementasi *deep learning* melalui integrasi teknologi pembelajaran matematika merupakan langkah strategis dalam menjawab tantangan pendidikan modern. Penelitian dan pengembangan lebih lanjut diperlukan untuk menemukan model integrasi yang paling efektif, inklusif, dan berkelanjutan, sehingga teknologi benar-benar menjadi katalisator dalam mewujudkan kualitas pendidikan yang lebih baik.

II. METODE

Penelitian ini menggunakan metode studi pustaka yang bertujuan menelaah integrasi teknologi dalam pembelajaran matematika untuk memperkuat penerapan *deep learning*. Sumber literatur yang digunakan berasal dari artikel jurnal internasional dan nasional bereputasi, prosiding konferensi, serta laporan penelitian yang terindeks pada basis data seperti Scopus, Web of Science, ERIC, Google Scholar, dan

Garuda/Sinta untuk literatur nasional. Strategi pencarian dilakukan dengan memanfaatkan kombinasi kata kunci, baik dalam bahasa Inggris maupun bahasa Indonesia, seperti “*deep learning in mathematics education*”, “*technology integration in mathematics learning*”, “*AI and learning analytics in education*”, “*augmented reality/virtual reality mathematics*”, hingga “integrasi teknologi pembelajaran matematika”. Operator Boolean (AND, OR) digunakan untuk memperluas maupun mempersempit hasil pencarian, misalnya “*deep learning*” AND “*mathematics education*” atau “*GeoGebra* OR *Desmos*” AND “*conceptual understanding*”.

Kriteria inklusi yang digunakan dalam seleksi literatur meliputi: (1) artikel diterbitkan antara tahun 2020–2025 untuk memastikan relevansi dengan perkembangan terbaru, (2) fokus kajian pada integrasi teknologi dalam pembelajaran matematika seperti AR, VR, AI, *learning analytics*, maupun aplikasi digital interaktif, (3) membahas keterkaitan teknologi dengan implementasi *deep learning* baik dari aspek pemahaman konseptual, pemecahan masalah, berpikir kritis, maupun keterampilan abad ke-21, (4) tersedia dalam teks lengkap (*full-text*) yang dapat diakses, serta (5) ditulis dalam bahasa Inggris atau bahasa Indonesia. Sementara itu, kriteria eksklusi ditetapkan untuk mengeluarkan artikel yang tidak relevan, seperti publikasi yang hanya menyinggung *deep learning* dalam konteks non-pendidikan (misalnya ilmu komputer atau kesehatan tanpa relevansi ke pembelajaran matematika), artikel *non-peer reviewed* seperti editorial atau opini populer, artikel duplikat yang muncul di lebih dari satu basis data, serta publikasi yang tidak menyajikan data empiris atau analisis konseptual yang memadai.

Tahapan penelitian dilakukan secara sistematis melalui enam langkah. Pertama, tahap identifikasi yang mencakup penyusunan pertanyaan penelitian dan penentuan kata kunci pencarian. Kedua, seleksi awal dengan menilai relevansi artikel berdasarkan judul dan abstrak. Ketiga, penyaringan (*screening*) yang menggunakan kriteria inklusi-eksklusi untuk memastikan hanya artikel yang sesuai dengan fokus penelitian yang dipilih. Keempat, ekstraksi data dari artikel terpilih dengan mencatat informasi penting seperti nama penulis, tahun publikasi, konteks penelitian, jenis teknologi yang digunakan, temuan utama terkait penerapan *deep learning*, serta tantangan dan peluang yang diidentifikasi. Kelima, analisis dan sintesis data, di mana literatur dikelompokkan ke dalam tema-tema besar, seperti visualisasi konsep matematika, AI & *learning analytics*, RME berbasis teknologi, *virtual classroom* dan kolaborasi digital, pelatihan guru, serta kurikulum berbasis AR/VR/IoT. Keenam, tahap pelaporan di mana temuan disajikan dalam bentuk narasi terstruktur yang dilengkapi dengan tabel dan peta tematik untuk menunjukkan pola serta hubungan antar penelitian..

III. HASIL DAN DISKUSI

Berdasarkan proses seleksi literatur menggunakan kriteria inklusi dan eksklusi, diperoleh 28 artikel relevan yang terbit antara tahun 2020–2025 dari berbagai jurnal internasional bereputasi dan jurnal nasional terindeks Sinta/DOAJ. Artikel-artikel tersebut membahas integrasi teknologi dalam pembelajaran matematika untuk memperkuat implementasi *deep learning*, dengan cakupan tema seperti: (1) visualisasi konsep matematika melalui aplikasi digital (Desmos, GeoGebra, AR/VR), (2)

pemanfaatan kecerdasan buatan (AI) dan *learning analytics*, (3) penerapan *Realistic Mathematics Education* berbasis teknologi, (4) pemanfaatan *virtual classroom* dan kolaborasi digital, serta (5) strategi kurikulum dan pelatihan guru untuk mendukung literasi digital dalam pembelajaran matematika.

Tabel 1. Ringkasan Hasil Studi Pustaka

Penulis & Tahun	Jumlah Artikel	Fokus Teknologi	Temuan Utama
(Dhani et al., 2022; Fathurrahman & Fitrah, 2023; Mediana Jr & Dio, 2025; Rafi & Sabrina, 2019)	3	Visualisasi konsep dengan Desmos, GeoGebra, AR	Meningkatkan pemahaman konseptual dan motivasi siswa melalui simulasi interaktif
(Abdillah et al., 2024; Awang et al., 2025; Joseph & Uzundu, 2024; Maulida et al., 2024; Zou et al., 2025)	5	AI & Learning Analytics	Personalisasi pembelajaran, diagnosis kesulitan belajar, sekaligus menimbulkan isu privasi data
(Rahayu et al., 2025; Tañola & Lomibao, 2024)	2	Realistic Mathematics Education berbasis teknologi	Menghubungkan matematika dengan konteks kehidupan nyata, meningkatkan motivasi belajar
(Awang et al., 2025; Engelbrecht & Borba, 2024; Hamzah et al., 2024)	3	Virtual classroom & digital collaboration	Memfasilitasi pembelajaran lintas ruang/waktu, menantang untuk menjaga keterlibatan siswa
(Muvid, 2024; Sugandi et al., 2025)	2	Pelatihan guru untuk media digital	Meningkatkan literasi digital dan pedagogik guru, tetapi menghadapi resistensi karena beban kerja
(Arsyad et al., 2025; Fatmawaty, 2024; Maharani et al., 2025)	3	Kurikulum berbasis AR/VR/IoT	Menyediakan pengalaman belajar imersif, membentuk keterampilan abad 21
(Hayati, 2025; A. G. Hidayat & Haryati,	5	Deep learning pada SD & SMP	Meningkatkan keterampilan berpikir kritis, pemecahan

Penulis & Tahun	Jumlah Artikel	Fokus Teknologi	Temuan Utama
2025; Mailani et al., 2025; Novita Barokah & Umi Mahmudah, 2025; Ratnasari et al., 2025)			masalah, dan kepercayaan diri
(Mulyanto et al., 2025; Sugandi et al., 2025; Yanuar et al., 2025)	3	Deep learning untuk guru SMA/SMK	Membantu guru menyiapkan pembelajaran bermakna, namun memerlukan dukungan kurikulum

Hasil kajian menunjukkan bahwa integrasi teknologi dalam pembelajaran matematika berbasis *deep learning* memiliki potensi besar untuk meningkatkan kualitas pembelajaran. Misalnya, pemanfaatan Desmos dan GeoGebra (19) terbukti efektif dalam memfasilitasi eksplorasi visual konsep matematika yang abstrak. Sementara itu, penerapan AI dan *learning analytics* memungkinkan personalisasi pembelajaran, meskipun menimbulkan kekhawatiran terkait privasi data (8,13). Selain itu, pendekatan RME berbasis teknologi mendorong keterhubungan pembelajaran matematika dengan konteks kehidupan nyata (3), sedangkan penggunaan virtual classroom dan alat kolaboratif membuka peluang pembelajaran lintas wilayah (23). Namun, resistensi guru dan keterbatasan infrastruktur digital masih menjadi hambatan utama (14,24). Secara umum, kajian ini menegaskan bahwa keberhasilan integrasi teknologi dalam *deep learning* matematika sangat dipengaruhi oleh kesiapan guru, dukungan kurikulum, ketersediaan infrastruktur, serta pemahaman pedagogis yang tepat.

Pembahasan

Integrasi teknologi dalam pembelajaran matematika telah menjadi strategi penting dalam memperkuat implementasi *deep learning*. Artikel-artikel yang direview menunjukkan bahwa teknologi tidak hanya berperan sebagai alat bantu, tetapi juga sebagai medium pedagogis yang mampu mendorong pemahaman konseptual, kolaborasi, personalisasi pembelajaran, dan keterampilan abad 21. Pembahasan berikut diuraikan berdasarkan lima tema utama.

1. Visualisasi Konsep Matematika melalui Aplikasi Digital (Desmos, GeoGebra, AR/VR)

Visualisasi konsep matematika melalui aplikasi digital seperti Desmos, GeoGebra, dan augmented reality (AR) telah menjadi strategi penting dalam mendukung *deep learning* karena mampu mengubah konsep yang abstrak menjadi pengalaman belajar yang lebih konkret dan interaktif (18,31). Dengan fitur grafik dinamis, Desmos misalnya memungkinkan siswa untuk memanipulasi

parameter secara langsung sehingga hubungan antarvariabel dapat dipahami tidak hanya secara prosedural, tetapi juga konseptual. Demikian pula, GeoGebra menghadirkan integrasi antara aljabar, geometri, dan kalkulus dalam bentuk representasi visual yang saling terhubung, sehingga siswa dapat mengeksplorasi sifat-sifat matematis melalui *multiple representations*.

Lebih jauh, teknologi AR memberikan nilai tambah dengan menghadirkan pengalaman imersif dalam mempelajari bentuk tiga dimensi, vektor, maupun transformasi geometri. Pengalaman ini menstimulasi *spatial reasoning* dan memperluas ruang imajinasi siswa yang sulit dicapai dengan media konvensional. Sejalan dengan temuan Hanifah et al. (2025); Mediana Jr & Dio (2025), integrasi media digital ini terbukti memperkaya proses berpikir kritis dan reflektif karena siswa tidak hanya menerima informasi, tetapi juga berkesempatan untuk menguji hipotesis, menganalisis pola, dan menemukan makna dari proses eksplorasi yang mereka lakukan.

Selain itu, Efendi & Asrizal (2025) menegaskan bahwa simulasi interaktif melalui media digital mampu menjembatani konsep matematis dengan aplikasi nyata, misalnya dalam konteks pemodelan fenomena fisika, ekonomi, atau sosial. Keterhubungan ini merupakan inti dari *deep learning*, karena siswa tidak hanya menguasai algoritma perhitungan, tetapi juga memahami relevansi matematika dalam kehidupan sehari-hari dan disiplin ilmu lain.

Contoh Penerapan

- GeoGebra untuk fungsi kuadrat.** Guru meminta siswa menggeser koefisien a , b , dan c pada fungsi kuadrat $y = ax^2 + bx + c$. Dengan visualisasi grafik yang berubah secara *real-time*, siswa dapat menghubungkan konsep aljabar dengan representasi geometris parabola.
- Desmos untuk trigonometri.** Siswa mengeksplorasi grafik fungsi sinus dan kosinus dengan mengubah amplitudo, frekuensi, dan fase. Aktivitas ini memperkuat pemahaman bahwa setiap parameter memiliki pengaruh langsung terhadap bentuk gelombang.
- AR untuk geometri 3D.** Melalui aplikasi AR, siswa dapat “meletakkan” bangun ruang (misalnya limas atau prisma) di meja kelas, memutar objek, mengukur panjang rusuk, dan mengamati irisan. Aktivitas ini membantu siswa membangun pemahaman spasial yang lebih baik.

2. Pemanfaatan Kecerdasan Buatan (AI) dan Learning Analytics

Artificial Intelligence (AI) dan **learning analytics** membuka peluang besar untuk personalisasi pembelajaran matematika yang selama ini sulit dicapai dengan pendekatan konvensional. Sistem berbasis AI mampu menganalisis pola belajar siswa secara *real-time* dan memberikan umpan balik adaptif yang sesuai dengan tingkat kemampuan, kecepatan, serta gaya belajar masing-masing individu (22). Dengan demikian, pembelajaran tidak lagi bersifat seragam, tetapi lebih responsif terhadap kebutuhan unik siswa. Hal ini mendukung *deep learning* karena siswa diarahkan untuk memperdalam konsep yang belum mereka kuasai, sekaligus

mendapatkan tantangan yang sesuai dengan perkembangannya.

Menurut Abdillah et al. (2024); Zou et al. (2025), teknologi ini mampu mengidentifikasi kesulitan spesifik siswa dengan cepat, misalnya miskonsepsi dalam aljabar atau kesalahan dalam memahami representasi grafik. Berdasarkan temuan tersebut, sistem AI dapat menyajikan rekomendasi aktivitas pembelajaran yang lebih tepat sasaran, baik berupa soal latihan tambahan, visualisasi alternatif, maupun penjelasan yang disesuaikan dengan gaya kognitif siswa. Proses ini tidak hanya memperbaiki kelemahan, tetapi juga menstimulasi kemandirian belajar (*self-regulated learning*), yang merupakan pilar penting dari *deep learning*.

Meski demikian, terdapat tantangan yang perlu dicermati. Pertama, isu privasi dan keamanan data menjadi perhatian utama, karena AI dan *learning analytics* mengandalkan pengumpulan serta analisis data siswa dalam skala besar. Kedua, masih banyak guru yang belum optimal dalam memanfaatkan data analitik sebagai dasar pengambilan keputusan pedagogis. Sejalan dengan (10) peningkatan literasi digital guru mutlak diperlukan agar teknologi ini benar-benar menjadi pendukung strategi pembelajaran yang lebih dalam, bukan sekadar alat otomatisasi penyelesaian soal.

Dengan perspektif ini, AI tidak boleh diposisikan hanya sebagai “mesin koreksi cepat”, tetapi sebagai partner pedagogis yang membantu guru memahami pola belajar siswa, merancang intervensi yang lebih kontekstual, serta menciptakan pengalaman belajar yang lebih personal, reflektif, dan bermakna.

Contoh Penerapan

- Chatbot berbasis AI.** Digunakan untuk menjawab pertanyaan siswa di luar jam pelajaran dengan penjelasan adaptif sesuai tingkat pemahaman mereka.
- Learning analytics dashboard.** Guru dapat melihat perkembangan individu maupun kelas secara visual (misalnya siswa yang berulang kali gagal memahami konsep limit), lalu merancang ulang strategi pembelajaran.
- Adaptive assessment.** Sistem tes yang menyesuaikan tingkat kesulitan soal berdasarkan respons siswa, sehingga hasil penilaian lebih akurat dalam merefleksikan kompetensi yang sebenarnya.

3. Penerapan *Realistic Mathematics Education* (RME) Berbasis Teknologi

Realistic Mathematics Education (RME) berbasis teknologi menghadirkan pendekatan pembelajaran yang menekankan keterkaitan antara konsep matematika dengan pengalaman nyata siswa melalui pemanfaatan media digital (32). Prinsip utama RME, yakni “*mathematics as a human activity*,” dapat semakin diperkuat dengan dukungan teknologi digital yang menyediakan konteks kaya, interaktif, dan mudah diakses. Dengan cara ini, matematika tidak lagi dipandang sebagai kumpulan simbol abstrak, melainkan sebagai sarana untuk memahami, menganalisis, dan memecahkan masalah dalam kehidupan sehari-hari.

Menurut Rahayu et al. (2025), teknologi digital memperluas cakupan konteks realistik yang bisa digunakan

guru dalam pembelajaran. Misalnya, melalui simulasi ekonomi siswa dapat mempelajari konsep persentase dan pertumbuhan eksponensial, penggunaan GPS dapat memperjelas konsep jarak dan koordinat, sementara analisis big data sederhana dari fenomena sosial dapat mendukung pemahaman statistik dan peluang. Konteks yang kaya ini memotivasi siswa untuk belajar lebih dalam, karena mereka melihat langsung relevansi matematika dalam kehidupan mereka.

Selain itu, Tañola & Lomibao (2024) menekankan pentingnya adaptasi konteks lokal melalui media digital. Misalnya, guru dapat memanfaatkan data curah hujan di daerah setempat untuk mengajarkan konsep rata-rata, atau menggunakan simulasi interaktif tentang transportasi lokal untuk menjelaskan optimasi rute. Pendekatan ini membuat siswa lebih mudah membangun makna dari konsep abstrak, sebab mereka dapat menghubungkan pengalaman sehari-hari dengan representasi matematis.

Dengan demikian, RME berbasis teknologi bukan sekadar pengayaan konteks, melainkan juga fondasi dalam mendukung *deep learning*. Siswa belajar menemukan keterhubungan antara pengalaman personal, fenomena sosial, dan simbol matematis; sekaligus melatih keterampilan *critical thinking* dan *problem solving* dalam situasi nyata.

Contoh Penerapan

- Simulasi Keuangan Digital.** Menggunakan aplikasi spreadsheet untuk menghitung bunga tabungan atau pinjaman, sehingga siswa memahami konsep persentase, bunga majemuk, dan eksponensial.
- GeoGebra dan Data Nyata.** Siswa menganalisis data suhu harian kota mereka, memodelkannya dalam bentuk fungsi, lalu memprediksi tren cuaca.
- Aplikasi GPS.** Melalui aplikasi peta digital, siswa menghitung jarak, waktu tempuh, dan rute optimal; kegiatan ini mengaitkan konsep geometri dan trigonometri dengan mobilitas sehari-hari.

4. Pemanfaatan *Virtual Classroom* dan Kolaborasi Digital

Platform virtual classroom dan **alat kolaborasi digital** seperti *Google Classroom*, *Microsoft Teams*, dan *Padlet* telah mengubah paradigma pembelajaran matematika menjadi lebih fleksibel, tidak terbatas ruang dan waktu (33). Melalui ekosistem digital ini, guru dapat mendistribusikan materi, memberikan tugas, serta memantau perkembangan siswa secara lebih terstruktur. Lebih penting lagi, platform ini memungkinkan interaksi asinkron dan sinkron, sehingga siswa dapat belajar sesuai ritme masing-masing sekaligus tetap terhubung dalam komunitas belajar. Menurut Engelbrecht & Borba (2024), keberhasilan pembelajaran daring matematika tidak hanya bergantung pada teknologi, tetapi juga pada desain interaksi yang mampu menumbuhkan partisipasi aktif siswa. Interaksi yang kaya mendorong siswa untuk mengajukan pertanyaan, mendiskusikan strategi, dan mengonstruksi pemahaman bersama. Tanpa keterlibatan aktif ini, teknologi hanya berfungsi sebagai repositori materi, bukan fasilitator *deep learning*.

Sementara itu, Hamzah et al. (2024) menunjukkan bahwa penggunaan alat kolaboratif digital memperkuat keterampilan komunikasi matematis siswa. Melalui diskusi kelompok daring, siswa tidak hanya menyampaikan jawaban, tetapi juga mengargumentasikan langkah-langkah penyelesaian, mendengarkan alternatif pemikiran teman, dan merefleksikan kembali strategi yang digunakan. Proses ini melatih *mathematical discourse*, sebuah keterampilan penting untuk memahami konsep secara mendalam. Lebih lanjut, Awang et al. (2025) menyoroti potensi kolaborasi lintas wilayah yang difasilitasi oleh platform digital. Siswa dapat bekerja sama dengan rekan dari daerah atau bahkan negara lain, sehingga mereka terekspos pada variasi pendekatan pemecahan masalah matematika. Keterpaparan terhadap perspektif yang beragam memperluas wawasan kognitif siswa dan mendorong terciptanya proses *argumentation*, *negotiation of meaning*, dan *co-construction of knowledge*. Semua ini menjadi fondasi penting bagi *deep learning* dalam pembelajaran matematika.

Contoh Penerapan

- a. **Diskusi problem-solving di Padlet.** Siswa mengunggah solusi atas soal terbuka, lalu memberikan komentar atau alternatif strategi pada jawaban teman.
- b. **Google Classroom untuk project-based learning.** Guru membagi siswa dalam kelompok lintas kelas/daerah untuk mengerjakan proyek matematika, seperti analisis data statistik lokal.
- c. **Microsoft Teams untuk pembelajaran sinkron.** Guru mengadakan *breakout rooms* untuk diskusi kelompok kecil, di mana setiap kelompok harus mempresentasikan solusi mereka.

5. Strategi Kurikulum dan Pelatihan Guru untuk Mendukung Literasi Digital

Keberhasilan integrasi teknologi dalam mendukung *deep learning* pada pembelajaran matematika sangat bergantung pada kesiapan guru dan desain kurikulum. Teknologi seperti AI, AR, VR, hingga IoT memang menawarkan potensi besar, namun tanpa kompetensi guru yang memadai dan kurikulum yang relevan, pemanfaatannya akan cenderung dangkal atau bahkan kontraproduktif.

Dari sisi kompetensi guru, pelatihan untuk menguasai media interaktif, simulasi digital, dan analitik pembelajaran menjadi faktor kunci. Sugandi et al. (2025) menegaskan bahwa kualitas implementasi teknologi pendidikan, khususnya berbasis AI, sangat ditentukan oleh kemampuan guru dalam mengoperasikan dan mengintegrasikannya ke dalam strategi pedagogis. Guru yang terampil dapat memanfaatkan teknologi bukan hanya sebagai alat bantu presentasi, melainkan sebagai fasilitator eksplorasi konsep, refleksi kritis, dan pemecahan masalah.

Namun demikian, Muvid (2024) menemukan bahwa resistensi guru sering muncul karena beban kerja tambahan, baik dalam menyiapkan materi digital maupun menganalisis data hasil pembelajaran. Oleh karena itu, integrasi teknologi perlu diiringi strategi insentif dan dukungan kelembagaan, misalnya melalui penyediaan waktu khusus untuk pengembangan profesional, penghargaan atas inovasi, serta dukungan teknis yang memadai. Hal ini akan menciptakan ekosistem yang lebih kondusif bagi guru untuk beradaptasi dengan perubahan.

Dari sisi kurikulum, integrasi teknologi harus diarahkan pada pengembangan keterampilan abad ke-21 seperti berpikir kritis, kreatif, kolaboratif, dan komunikatif. Penelitian Arsyad et al. (2025); Fatmawaty (2024); Maulida et al. (2024) menunjukkan bahwa pemanfaatan AR, VR, dan IoT dalam konteks pembelajaran matematika dapat menciptakan pengalaman belajar yang imersif. Misalnya, siswa dapat mengeksplorasi bangun ruang melalui VR, menghubungkan sensor IoT dengan data statistik nyata, atau memanfaatkan AR untuk memahami transformasi geometri. Dengan desain kurikulum yang terarah, teknologi ini tidak hanya meningkatkan keterlibatan siswa, tetapi juga memperkuat proses *deep learning* yang berfokus pada pemahaman mendalam dan penerapan bermakna.

Dengan demikian, integrasi teknologi dalam pendidikan matematika menuntut dua aspek yang saling melengkapi: (1) guru yang siap secara kompetensi, motivasi, dan dukungan kelembagaan; serta (2) kurikulum yang mampu memandu penggunaan teknologi untuk mengembangkan keterampilan konseptual sekaligus kompetensi abad ke-21.

Contoh Penerapan

- a. **Pelatihan guru berbasis praktik langsung.** Guru dilatih menggunakan AI learning analytics untuk mengidentifikasi kesulitan siswa, kemudian merancang intervensi berbasis data.
- b. **Kurikulum berbasis proyek digital.** Siswa mengembangkan proyek berbasis IoT, misalnya menghitung konsumsi energi listrik rumah tangga, untuk mempelajari konsep matematika dalam konteks nyata.
- c. **Kolaborasi antar sekolah.** Lembaga pendidikan menyediakan forum daring bagi guru untuk berbagi praktik terbaik integrasi AR/VR dalam pembelajaran matematika.

IV. KESIMPULAN

Integrasi teknologi dalam pembelajaran matematika terbukti memiliki potensi besar dalam memperkuat *deep learning*, khususnya melalui pemanfaatan media interaktif, AR/VR, AI, dan IoT yang mampu menghadirkan pengalaman belajar yang lebih imersif, kritis, kreatif, serta kolaboratif. Namun, keberhasilan implementasi sangat ditentukan oleh kesiapan guru dan desain kurikulum yang adaptif. Pelatihan guru secara berkelanjutan menjadi kebutuhan mendesak, sebab kompetensi dalam mengelola teknologi pendidikan akan menentukan kualitas pembelajaran. Selain itu, resistensi guru akibat beban kerja tambahan perlu diantisipasi dengan pemberian insentif serta dukungan kelembagaan yang memadai.

Oleh karena itu, disarankan agar lembaga pendidikan merancang program pelatihan guru yang terstruktur, berfokus pada penguasaan teknologi digital untuk pembelajaran mendalam. Kurikulum juga harus dirancang lebih fleksibel dan visioner, mengintegrasikan teknologi modern dengan tujuan pembelajaran abad 21. Pemerintah, sekolah, dan pemangku kepentingan lainnya sebaiknya bekerja sama dalam menyediakan fasilitas, regulasi, serta ekosistem yang mendukung inovasi pembelajaran berbasis teknologi agar penerapan *deep learning* dapat berjalan optimal dan berkelanjutan.

REFERENSI

1. Fatmawaty F. Deep Learning: Sebuah Pendekatan untuk Pembelajaran Bermakna. *Harmon Pendidik J Ilmu Pendidik*. 2024;1(1):71–85.
2. Fitriani A, Santiani. Analisis Literatur: Pendekatan Pembelajaran Deep Learning dalam Pendidikan. *J Ilm Nusant* [Internet]. 2025;2(3):50–7. Available from: <https://doi.org/10.61722/jinu.v2i3.4357>
3. Rahayu C, Setiani WR, Yulindra D, Azzahra L. Pendidikan Matematika Realistik Indonesia dalam Pembelajaran Mendalam (Deep Learning): Tinjauan Literatur. *J Pendidik Mat Univ Lampung*. 2025;13(1):9–25.
4. Tañola MD, Lomibao LS. Understanding How Students Learn Mathematics: A Systematic Literature Review of Contemporary Learning Strategies in Mathematics Education Post-2020. *J Innov Teach Learn* [Internet]. 2024;4(1):66–75. Available from: <http://pubs.sciepub.com/jitl/4/1/11>
5. Mailani E, Rarastika N, Jannah M, Heriani NA, Zendrato WE. Pemanfaatan Strategi Deep Learning untuk Meningkatkan Pemahaman Konsep Matematika Dasar Siswa Sekolah Dasar: Studi Literatur. *J IIC J Intelek Insa Cendekian* [Internet]. 2025;2(6):12349–55. Available from: <https://jicnusantara.com/index.php/jiic>
6. Ratnasari, Nurvialesti N, Wati AS. Implementasi Pembelajaran Mendalam terhadap Kemampuan Berpikir Kritis Matematis Siswa. *Algoritma J Mat Ilmu Pengetah Alam, Kebumihan dan Angkasa* [Internet]. 2025;3(4):43–50. Available from: <https://journal.arimsi.or.id/index.php/Algoritma>
7. Abdillah, Syaharuddin, Mandailina V, Mehmood S. The Role of Mathematics in Machine Learning for Disease Prediction: An In-Depth Review in the Healthcare Domain. *Adv Sustain Sci Eng Technol*. 2024;6(4):1–11.
8. Awang LA, Yusop FD, Danae M. Current practices and future direction of artificial intelligence in mathematics education: A systematic review. *Int Electron J Math Educ*. 2025;20(2).
9. Maulida L, Nurossobah P, Aura BA, Nengsih ED, Rasilah R. Improving The Effectiveness of Mathematics Learning Through Artificial Intelligence: Literature Review. *J Gen Educ Humanit*. 2024;3(4):323–38.
10. Efendi E, Asrizal. Research Trends and Opportunities in Integrating Augmented Reality and Deep Learning into Science Education: A Bibliometric Analysis. *J Penelit Pendidik IPA*. 2025;11(7):1–11.
11. Arsyad M, Azizi MA, Al Iklhas, Leuwol NV, Nasyanovariani DF, Manuhutu A. Pemanfaatan AI dan Deep Learning dalam Pembelajaran STEAM Berbasis Outcome-Based Education. *J Edu Res Indones Inst Corp Learn Stud* [Internet]. 2025;6(1):1180–90. Available from: <https://www.researchgate.net/publication/391394845>
12. Hanifah U, Budayasa IK, Sulaiman R. Technology, pedagogy, and content knowledge in mathematics education: a systematic literature review. *J Educ Learn*. 2025;19(1):579–86.
13. Zou Y, Kuek F, Feng W, Cheng X. Digital learning in the 21st century: trends, challenges, and innovations in technology integration. *Front Educ*. 2025;10.
14. Muvid MB. Menelaah Wacana Kurikulum Deep Learning: Urgensi Dan Peranannya Dalam Menyiapkan Generasi Emas Indonesia. *J Pendidik dan Kebud*. 2024;3(2):80–93.
15. Wijaya M. Kurikulum Deep Learning di Indonesia; Sebuah Harapan Baru. *J Ilm Pendidik Scholast*. 2025;9(1):10–5.
16. Hamzah F, Abdullah AH, Ma W. Advancing Education through Technology Integration, Innovative Pedagogies and Emerging Trends: A Systematic Literature Review. *J Adv Res Appl Sci Eng Technol*. 2024;41(1):44–63.
17. Hidayat A, Firmanti P. Navigating the tech frontier: a systematic review of technology integration in mathematics education. *Cogent Educ* [Internet]. 2024;11(1). Available from: <https://doi.org/10.1080/2331186X.2024.2373559>
18. Dhani SR, Nasution MD, Irvan I. Penggunaan desmos dalam pembelajaran matematika materi program linier sebagai sarana meningkatkan kemampuan siswa. *AKSIOMA J Mat dan Pendidik Mat*. 2022;13(2):237–47.
19. Mediana Jr NL, Dio R V. Systematic Review on the Efficacy of Desmos Integration in Mathematics Education: Unveiling Impacts on Learning Outcomes and Pedagogical Strategies. *Int J Futur Eng Innov*. 2025;2(4):104–15.
20. Rafi I, Sabrina N. Pengintegrasian TPACK dalam Pembelajaran Transformasi Geometri SMA untuk Mengembangkan Profesionalitas Guru Matematika. *SJME (Supremum J Math Educ)*. 2019;3(1):47–56.
21. Fathurrahman F, Fitrah M. Software Geogebra Pada Pembelajaran Matematika: Studi Literatur. *J Ilm Mat Realis* [Internet]. 2023; Available from: <https://jim.teknokrat.ac.id/index.php/pendidikanmatematika/article/view/2497>
22. Joseph OB, Uzundu NC. Integrating AI and Machine Learning in STEM education: Challenges and opportunities. *Comput Sci IT Res J*. 2024;5(8):1732–50.
23. Engelbrecht J, Borba MC. Recent developments in using digital technology in mathematics education. *ZDM - Math Educ* [Internet]. 2024;56(2):281–92. Available from: <https://doi.org/10.1007/s11858-023-01530-2>
24. Sugandi A, Bernard M, Hendriana H, Linda L. Pelatihan penerapan deep learning terhadap pembelajaran Matematika pada guru-guru SMA di Kota Cimahi. *Abdimas Siliwangi*. 2025;8(2):326–38.
25. Maharani L, Riyadi AR, Maulida N. DEEP LEARNING DALAM PEMBELAJARAN MATEMATIKA DI SD. *Pendas J Ilm Pendidik Dasar*. 2025;6(1):147–55.
26. Novita Barokah, Umi Mahmudah. Transformasi Pembelajaran Matematika SD Melalui Deep Learning: Strategi untuk Meningkatkan Motivasi dan Prestasi. *Bilangan J Ilm Mat Kebumihan dan Angkasa*. 2025;3(3):48–61.
27. Hayati R. Peran Deep Learning Dalam Meningkatkan Keterampilan Pemecahan Masalah Siswa. *J Pendidik Indonesia*. 2025;6(1):29–39.
28. Hidayat AG, Haryati T. Analysis of Learning Effectiveness Using the Deep Learning Approach in Elementary Schools. *Kurikula J Pendidik*. 2025;9(2):126–39.
29. Yanuar A, Fazar W, Siswanto D, Feriyadi D, Dinoto M. Matematika Berbasis Pendekatan Deep Learning Bagi Guru Sma / Smk. *J Abdipura*. 2025;1:62–73.
30. Mulyanto A, Supriatna N, Erawati ER, Heryati T, Mulyanah U. Peningkatan Kualitas Belajar Melalui Kepemimpinan Pembelajaran Berbasis Deep Learning di SMPN 3 Margahayu. *J Pengabd Masy Pemberdayaan, Inov dan Perubahan*. 2025;5(3):7–16.
31. Nasution AU, Syahputra E, Ahyaningsih F. ... Model Pembelajaran Berbasis Matematika Realistik Berbantuan Geogebra untuk Meningkatkan Kemampuan Pemecahan Masalah Matematis Siswa SMP Al Azhar *J Pendidik Mat* [Internet]. 2022; Available from: <https://j-cup.org/index.php/cendekia/article/view/1379>
32. Putri AD, Juandi D, Turmudi. Realistic mathematics education and mathematical literacy: a meta-analysis conducted on studies in Indonesia. *J Educ Learn*. 2024;18(4):1468–76.
33. Zhilmagambetova R. The Role of Adaptive Personalized Technologies in the Learning Process: Stepik as a Tool for Teaching Mathematics. *Int J Virtual Pers Learn Environ* [Internet]. 2023;13(1). Available from: https://api.elsevier.com/content/abstract/scopus_id/85171771223