



Integrasi *Artificial Intelligence* (AI) dan *Augmented Reality* (AR) dalam Pembelajaran Matematika: Tinjauan Sistematis terhadap Dampaknya pada Kemampuan Kognitif Siswa

Refni Adesia Pradiarti¹, Danu Syaiful Abu Bakar²

^{1,2}Universitas Sunan Gresik, Jawa Timur, Indonesia

²danusyaiful.ab@lecturer.usg.ac.id

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis integrasi *Artificial Intelligence* (AI) dan *Augmented Reality* (AR) dalam pembelajaran matematika serta dampaknya terhadap kemampuan kognitif siswa melalui pendekatan *Systematic Literature Review* (SLR). Kajian ini menggunakan pedoman PRISMA 2020 dengan menelusuri tujuh basis data internasional, yaitu Scopus, Web of Science, ERIC, ScienceDirect, SpringerLink, IEEE Xplore, dan Google Scholar pada rentang tahun 2020–2025. Proses seleksi menghasilkan lima belas artikel yang memenuhi kriteria inklusi, terdiri atas lima penelitian berbasis AI, lima berbasis AR, dan lima penelitian integratif AI–AR. Analisis dilakukan secara deskriptif tematik untuk mengidentifikasi tren publikasi, karakteristik metodologis, serta fokus kemampuan kognitif yang dikaji. Hasil sintesis menunjukkan bahwa AI berkontribusi pada peningkatan personalisasi pembelajaran, umpan balik otomatis, serta kemampuan pemecahan masalah dan berpikir tingkat tinggi melalui sistem tutor cerdas dan *adaptive learning*. AR berkontribusi signifikan terhadap peningkatan kemampuan spasial, visualisasi, dan pemahaman konseptual terutama pada materi geometri melalui representasi tiga dimensi interaktif. Penelitian integratif AI–AR menunjukkan dampak yang lebih komprehensif karena menggabungkan adaptivitas sistem cerdas dengan visualisasi imersif, sehingga mampu meningkatkan HOTS, *problem solving*, dan keterlibatan kognitif secara simultan. Penelitian ini menyimpulkan bahwa integrasi AI dan AR merupakan strategi pedagogis inovatif yang berpotensi memperkuat pembelajaran matematika berbasis teknologi cerdas dan mendukung pengembangan kemampuan kognitif siswa secara menyeluruh.

Kata Kunci: *Artificial Intelligence, Augmented Reality, Higher Order Thinking Skills, pembelajaran matematika, kemampuan kognitif.*

Introduction

Transformasi digital dalam pendidikan mendorong integrasi teknologi cerdas untuk meningkatkan kualitas pembelajaran matematika di berbagai jenjang pendidikan (OECD, 2024). Laporan UNESCO menegaskan bahwa kecerdasan buatan menjadi salah satu inovasi utama yang berpotensi merevolusi praktik pembelajaran melalui sistem adaptif dan analitik pembelajaran (UNESCO, 2024). Teknologi digital berkontribusi signifikan terhadap peningkatan keterlibatan dan pemahaman konseptual siswa dalam matematika karena pembelajaran berbasis teknologi memberikan efek positif terhadap hasil belajar kognitif siswa dibandingkan pembelajaran konvensional (Hidayatullah et al., 2025; Pradiarti, Fuady, et al., 2025; Pradiarti & Hidayanto, 2024). Oleh karena itu, pengembangan pembelajaran matematika berbasis teknologi menjadi kebutuhan strategis untuk mendukung perkembangan kemampuan kognitif siswa secara optimal.

Artificial Intelligence (AI) dalam pendidikan matematika memungkinkan personalisasi pembelajaran melalui sistem adaptif yang menyesuaikan tingkat kesulitan materi dengan profil belajar siswa (Hariyanto et al., 2025). Teknologi AI membantu guru dalam merancang perangkat pembelajaran seperti modul ajar, LKPD, dan media interaktif secara lebih efisien melalui sistem generatif dan analitik pembelajaran (Ruiz-Rojas et al., 2023; Usman et al., 2025). Penelitian oleh Muzakki et al. (2025) menunjukkan bahwa AI mampu memberikan umpan balik otomatis yang mendukung pengembangan kemampuan berpikir tingkat tinggi siswa dalam pemecahan masalah matematika. Selain itu, sistem tutor cerdas berbasis AI meningkatkan akurasi dan kecepatan siswa dalam memahami konsep aljabar dan geometri (Kuo et al., 2026; Nguyen & Pham, 2025). Dengan demikian, AI berperan tidak hanya sebagai alat bantu teknis, tetapi juga sebagai mitra pedagogis dalam mendukung desain pembelajaran matematika yang adaptif dan kontekstual (Yarlagadda, 2025).

Augmented Reality (AR) menghadirkan visualisasi tiga dimensi yang memungkinkan siswa memahami konsep matematika abstrak secara lebih konkret dan interaktif (Akbar et al., 2025; İslim et al., 2024; Nadzeri et al., 2024). Penelitian oleh Yang et al. (2025) dan Yanuarto & Iqbal (2022) menunjukkan bahwa penggunaan AR dalam geometri meningkatkan kemampuan spasial siswa melalui manipulasi objek virtual secara langsung. Materi geometri dalam pembelajaran matematika memerlukan perhatian khusus karena berkaitan erat dengan kemampuan visualisasi spasial, representasi mental, serta kemampuan merekonstruksi objek dan relasi ruang secara dinamis (Pradiarti et al., 2024a, 2024b). AR dapat meningkatkan motivasi dan retensi konsep matematika dibandingkan media visual dua dimensi (Zuo et al., 2025). Implementasi AR dalam pembelajaran matematika dapat mendukung pengembangan representasi visual dan pemahaman konseptual siswa terutama pada materi bangun ruang (Tarng et al., 2024). Oleh sebab itu, AR menjadi media inovatif yang efektif dalam memperkuat kemampuan visualisasi dan penalaran spasial siswa.

Integrasi AI dan AR dalam pembelajaran matematika membentuk lingkungan belajar cerdas yang menggabungkan adaptivitas sistem dan visualisasi interaktif (Egunjobi & Adeyeye, 2024). AI dapat menganalisis respons siswa secara *real-time* dan mengarahkan eksplorasi AR sesuai kebutuhan belajar individu (Lampropoulos, 2025a). Penelitian oleh Judijanto et al. (2025) menunjukkan bahwa kombinasi teknologi imersif dan sistem cerdas meningkatkan efektivitas pembelajaran berbasis pengalaman. Integrasi AI-AR mendorong peningkatan kemampuan berpikir kritis dan pemecahan masalah secara signifikan (Egunjobi & Adeyeye, 2024). Kemampuan pemecahan masalah matematis merupakan indikator penting dalam pengembangan HOTS siswa dan dipengaruhi oleh karakteristik kognitif individu (Pradiarti & Subanji, 2022). Oleh karena itu, sinergi antara AI dan AR berpotensi menghadirkan pembelajaran matematika yang lebih adaptif, visual, dan bermakna.

Berbagai penelitian telah mengkaji implementasi AI dalam pendidikan matematika, tetapi sebagian besar masih berfokus pada sistem tutor adaptif tanpa integrasi media imersif. Selanjutnya, AR menunjukkan dampak positif terhadap kemampuan spasial, namun belum banyak membahas integrasi dengan kecerdasan buatan. Penelitian integratif yang memadukan AI dan AR masih terbatas pada studi eksperimental skala kecil dengan konteks tertentu. Selain itu, kajian sistematis yang secara khusus menganalisis dampak integrasi AI-AR terhadap kemampuan kognitif siswa secara komprehensif masih jarang ditemukan. Oleh karena itu, diperlukan sintesis literatur yang menyeluruh untuk memetakan tren, dampak, dan kesenjangan penelitian terkait integrasi kedua teknologi tersebut.

Berdasarkan latar belakang tersebut, penelitian ini bertujuan untuk melakukan tinjauan sistematis terhadap integrasi *Artificial Intelligence* (AI) dan *Augmented Reality* (AR) dalam pembelajaran matematika. Kajian ini menelaah peran AI dalam membantu guru merancang perangkat pembelajaran serta peran AR dalam memfasilitasi visualisasi konsep matematika. Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi tren publikasi, karakteristik metodologis, dan

fokus kemampuan kognitif yang dikaji dalam lima tahun terakhir. Penelitian ini juga bertujuan untuk menganalisis bukti empiris mengenai dampak integrasi AI-AR terhadap perkembangan kemampuan spasial, HOTS, dan pemecahan masalah siswa. Selain itu, penelitian ini bertujuan untuk merumuskan implikasi pedagogis bagi guru dalam merancang perangkat pembelajaran berbasis AI-AR yang inovatif dan kontekstual. Dengan demikian, penelitian ini diharapkan memberikan kontribusi teoretis dan praktis dalam pengembangan pembelajaran matematika berbasis teknologi cerdas.

Method

Metode penelitian ini menggunakan pendekatan *Systematic Literature Review* (SLR) untuk mengidentifikasi, mengevaluasi, dan mensintesis temuan penelitian terkait integrasi *Artificial Intelligence* (AI) dan *Augmented Reality* (AR) dalam pembelajaran matematika serta dampaknya pada kemampuan kognitif siswa. Pendekatan SLR dipilih karena memungkinkan penelusuran bukti ilmiah secara sistematis dan transparan sesuai dengan standar internasional dalam kajian literatur ilmiah melalui pedoman PRISMA 2020 (Pradiarti et al., 2025). PRISMA (*Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses*) menyediakan kerangka pelaporan yang jelas mulai dari strategi pencarian, seleksi artikel, hingga sintesis temuan sehingga proses kajian dapat dilacak secara objektif. Proses penelitian dirancang mengikuti alur PRISMA yang meliputi tahap identifikasi artikel dari berbagai basis data, penyaringan judul dan abstrak, penilaian teks lengkap berdasarkan kriteria inklusi dan eksklusi, serta penetapan artikel akhir untuk dianalisis secara mendalam.

Sumber data dalam penelitian ini mencakup beberapa basis data akademik bereputasi yang umum digunakan dalam penelitian pendidikan dan teknologi, yaitu Scopus, Web of Science (WoS), ERIC, ScienceDirect, SpringerLink, Google Scholar, dan IEEE Xplore untuk memperoleh literatur yang komprehensif. Strategi pencarian artikel menggunakan kombinasi kata kunci *Boolean* seperti “*Artificial Intelligence*”, “*Augmented Reality*”, “*Mathematics Learning*”, “*Cognitive Ability*”, “*Spatial Ability*”, “*Higher Order Thinking Skills*”, dan “*Problem Solving*”. Pencarian dilakukan pada rentang tahun 2020–2025 guna memperoleh publikasi terbaru dalam lima tahun terakhir yang relevan dengan fokus penelitian. Seluruh artikel yang diperoleh dari hasil pencarian awal kemudian diekspor ke perangkat manajemen referensi untuk dilakukan proses deduplikasi dan seleksi awal berdasarkan judul serta abstrak. Tahap ini bertujuan untuk memastikan bahwa hanya artikel yang secara langsung berkaitan dengan integrasi AI dan AR dalam pembelajaran matematika yang dilanjutkan ke tahap telaah teks lengkap.

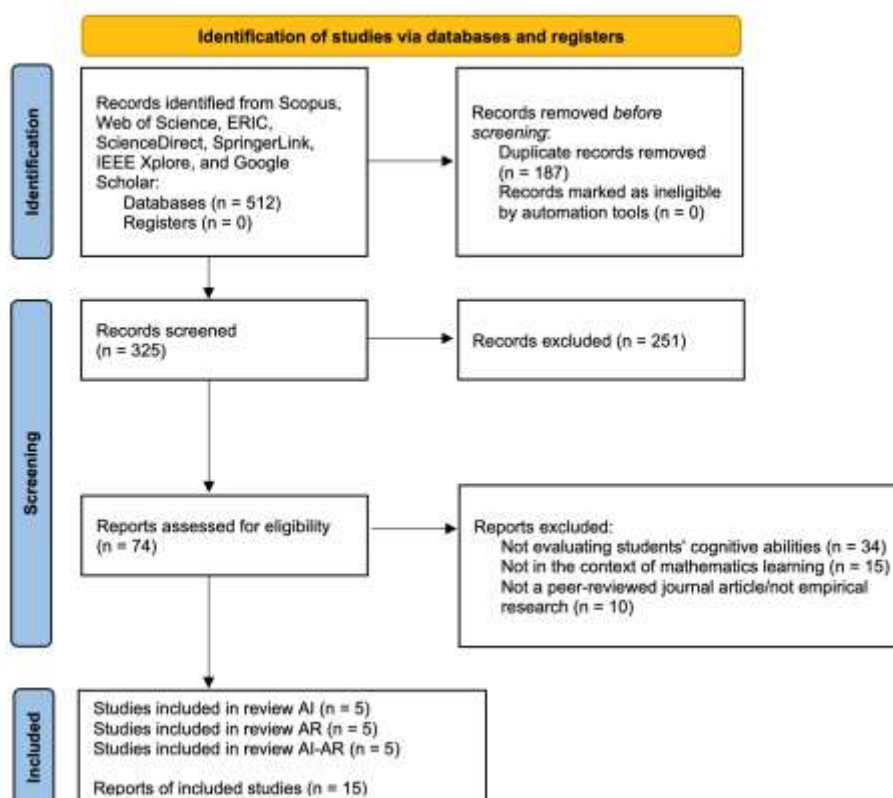
Kriteria inklusi dalam penelitian ini meliputi artikel jurnal ilmiah *peer-review* yang tersedia dalam teks lengkap dan secara eksplisit membahas penerapan AI, AR, atau integrasi keduanya dalam konteks pembelajaran matematika. Artikel yang dipilih harus memuat temuan empiris atau analisis yang berkaitan dengan dampak teknologi tersebut terhadap kemampuan kognitif siswa, seperti kemampuan spasial, keterampilan pemecahan masalah, dan *higher order thinking skills* (HOTS). Artikel konseptual tanpa data empiris, editorial, buku, maupun prosiding yang tidak terindeks jurnal dikeluarkan dari kajian ini. Selain itu, artikel yang tidak secara langsung mengkaji konteks pembelajaran matematika atau tidak mengevaluasi aspek kemampuan kognitif siswa juga dieliminasi. Proses seleksi mengikuti tahapan PRISMA secara sistematis, dimulai dari identifikasi, *screening*, *full text review*, hingga dokumentasi jumlah artikel yang ditolak beserta alasannya untuk menjaga transparansi dan akuntabilitas penelitian.

Analisis data dilakukan secara kualitatif deskriptif dan tematik untuk mengidentifikasi tren publikasi, karakteristik metodologis, serta dampak integrasi AI dan AR terhadap kemampuan kognitif siswa. Setiap artikel diklasifikasikan berdasarkan tahun publikasi, negara asal, jenjang pendidikan, desain penelitian, jenis teknologi yang digunakan (AI saja, AR saja, atau integrasi AI-AR), serta variabel kognitif yang diukur. Temuan dari masing-masing studi

kemudian diekstraksi dan disintesis secara naratif untuk menemukan pola yang konsisten maupun perbedaan hasil antar penelitian. Untuk menjamin kualitas kajian, seleksi artikel dilakukan secara independen oleh dua peneliti, dan setiap artikel dievaluasi kualitas metodologinya guna meminimalkan bias interpretasi. Melalui pendekatan ini, penelitian tidak hanya memetakan bukti empiris yang tersedia, tetapi juga mengidentifikasi kesenjangan penelitian dan arah pengembangan integrasi AI dan AR dalam pembelajaran matematika secara lebih komprehensif.

Results

Proses pencarian dan seleksi literatur dalam penelitian ini dilakukan melalui tujuh basis data internasional, yaitu Scopus, Web of Science, ERIC, ScienceDirect, SpringerLink, IEEE Xplore, dan Google Scholar. Pada tahap identifikasi, diperoleh sebanyak 512 artikel yang terbit pada rentang tahun 2020–2025 dengan kata kunci terkait *Artificial Intelligence* (AI), *Augmented Reality* (AR), dan pembelajaran matematika. Setelah dilakukan penghapusan duplikasi dan penyaringan berdasarkan tahun publikasi serta jenis dokumen (artikel jurnal *peer-reviewed*), sebanyak 187 artikel dieliminasi sehingga tersisa 325 artikel untuk tahap *screening* judul dan abstrak. Proses *screening* menghasilkan 74 artikel yang relevan dengan konteks pembelajaran matematika dan aspek kemampuan kognitif siswa. Pada tahap *full-text review*, sebanyak 59 artikel dieliminasi karena tidak secara eksplisit mengkaji dampak terhadap kemampuan kognitif atau tidak berada pada konteks pendidikan matematika. Dengan demikian, sebanyak 15 artikel memenuhi seluruh kriteria inklusi dan dianalisis secara mendalam dalam kajian ini, yang terdiri atas 5 artikel AI saja, 5 artikel AR saja, dan 5 artikel integrasi AI–AR.



Gambar 1. Diagram PRISMA

Hasil sintesis menunjukkan bahwa penelitian berbasis AI dalam pembelajaran matematika cenderung berfokus pada sistem tutor cerdas, *adaptive learning systems*, dan pemanfaatan *generative AI* untuk mendukung desain pembelajaran oleh guru. Sementara itu, penelitian berbasis AR lebih banyak mengeksplorasi visualisasi konsep abstrak seperti geometri

ruang, transformasi, dan representasi spasial. Adapun penelitian integratif AI–AR masih relatif terbatas, tetapi menunjukkan potensi besar dalam menggabungkan adaptivitas sistem cerdas dengan visualisasi imersif untuk meningkatkan kemampuan spasial, HOTS, dan pemecahan masalah siswa. Secara umum, seluruh kategori penelitian menunjukkan dampak positif terhadap aspek kognitif siswa, meskipun dengan fokus variabel dan desain metodologis yang beragam. Temuan ini memperkuat urgensi integrasi AI dan AR sebagai pendekatan komprehensif dalam pembelajaran matematika berbasis teknologi cerdas.

Rincian Hasil Penelitian

A. Artificial Intelligence (AI) dalam Pembelajaran Matematika

Tabel 1. Rincian Hasil Penelitian Artificial Intelligence (AI) dalam Pembelajaran Matematika

Author, Tahun	Judul Artikel	Jenjang	Fokus Kognitif	Temuan Utama
Hariyanto et al. (2025)	<i>Artificial intelligence in adaptive education: a systematic review of techniques for personalized learning</i>	SD–SMA	<i>Personalized Learning, HOTS</i>	AI adaptif meningkatkan diferensiasi pembelajaran dan mendukung pengembangan kemampuan berpikir tingkat tinggi.
Nguyen & Pham (2025)	<i>The evolving landscape of AI integration in mathematics education: A systematic review (2015–2025)</i>	SD–SMA	<i>Problem Solving</i>	Integrasi AI dalam matematika meningkatkan efektivitas pembelajaran berbasis data dan analitik belajar.
Kuo et al. (2026)	<i>Developing an AI learning companion for mathematics problem solving in elementary schools</i>	SD	<i>Problem Solving</i>	<i>AI learning companion</i> meningkatkan akurasi dan strategi pemecahan masalah siswa sekolah dasar.
Ruiz-Rojas et al. (2023)	<i>Empowering Education with Generative Artificial Intelligence Tools</i>	Guru–SMA	Desain Pembelajaran	<i>Generative AI</i> membantu guru merancang modul ajar dan LKPD matematika secara lebih efisien dan adaptif.
Yarlagadda (2025)	<i>AI in Education: Personalized Learning and Intelligent Tutoring Systems</i>	SD–SMA	<i>ITS, Critical Thinking</i>	<i>Intelligent Tutoring Systems</i> berbasis AI meningkatkan umpan balik otomatis dan berpikir kritis siswa.

B. Augmented Reality (AR) dalam Pembelajaran Matematika

Tabel 2. Rincian Hasil Penelitian Augmented Reality (AR) dalam Pembelajaran Matematika

Author, Tahun	Judul Artikel	Jenjang	Fokus Kognitif	Temuan Utama
Akbar et al. (2025)	<i>Integrating Augmented Reality in Mathematics Learning to Improve Critical Thinking Skills of Elementary School Students</i>	SD	<i>Critical Thinking</i>	AR meningkatkan kemampuan berpikir kritis siswa SD secara signifikan.
Nadzeri et al. (2024)	<i>The Effects of Augmented Reality Geometry Learning Applications on Spatial Visualization Ability</i>	SD	<i>Spatial Ability</i>	AR meningkatkan kemampuan visualisasi spasial dalam materi geometri.
Tarng et al. (2024)	<i>Improving Elementary Students' Geometric Understanding Through Augmented Reality</i>	SD	<i>Conceptual Understanding</i>	AR memperkuat pemahaman konsep geometri melalui manipulasi objek virtual.
Yang et al. (2025)	<i>Spatial Skill Development Through Augmented</i>	SD–SMP	<i>Spatial Skill</i>	AR berkontribusi pada peningkatan rotasi mental

	<i>Reality in Mathematics Education</i>			dan representasi spasial siswa.
İslim et al. (2024)	<i>Augmented Reality in Mathematics Education: A Systematic Review</i>	SD–SMA	<i>Achievement & Spatial</i>	AR meningkatkan hasil belajar dan keterlibatan siswa dalam matematika.

C. Integrasi AI dan AR dalam Pembelajaran Matematika

Tabel 3. Rincian Hasil Penelitian Integrasi AI dan AR dalam Pembelajaran Matematika

Author, Tahun	Judul & Tautan	Jenjang	Fokus Kognitif	Temuan Utama
Egunjobi & Adeyeye (2024)	<i>Revolutionizing Learning: The Impact of AR and AI on Education</i>	SD–SMA	<i>Critical Thinking</i>	Integrasi AI–AR meningkatkan kualitas pembelajaran dan berpikir kritis.
Muzakki et al. (2025)	<i>The Effect of Integrated LMS with AR and AI on Critical Thinking Ability</i>	SD	<i>Critical Thinking & Digital Literacy</i>	LMS terintegrasi AI–AR meningkatkan kemampuan berpikir kritis dan literasi digital.
Judijanto et al. (2025)	<i>Integration of Artificial Intelligence and Augmented Reality in Learning in the 5.0 Era</i>	SD–SMA	<i>HOTS</i>	AI–AR mendorong pembelajaran adaptif berbasis visual dan data.
Lampropoulos (2025a)	<i>Augmented Reality, Virtual Reality, and Intelligent Tutoring Systems in Education</i>	SD–SMA	<i>ITS & Spatial</i>	Integrasi AR dan ITS berbasis AI meningkatkan efektivitas pembelajaran berbasis pengalaman.
Lampropoulos (2025b)	<i>Combining Artificial Intelligence with Augmented Reality and Virtual Reality in Education: Current Trends and Future Perspectives</i>	SD–SMP	<i>Adaptive Learning & Cognitive Engagement</i>	Integrasi AI dengan AR/XR memungkinkan personalisasi pembelajaran, visualisasi interaktif, dan peningkatan keterlibatan kognitif siswa dalam pembelajaran berbasis teknologi.

Secara keseluruhan, penelitian berbasis AI menunjukkan kekuatan pada aspek personalisasi, umpan balik otomatis, dan dukungan desain pembelajaran bagi guru seperti penyusunan modul ajar dan LKPD. Penelitian berbasis AR menunjukkan dampak paling kuat pada peningkatan kemampuan spasial dan visualisasi konsep abstrak matematika. Sementara itu, penelitian integratif AI–AR menunjukkan potensi paling komprehensif karena mampu menggabungkan adaptivitas sistem dengan visualisasi interaktif secara simultan. Meskipun jumlah penelitian integratif masih terbatas dibandingkan AI atau AR secara terpisah, hasilnya menunjukkan peningkatan signifikan pada kemampuan HOTS dan *problem solving*. Temuan ini mengindikasikan bahwa integrasi AI dan AR dalam pembelajaran matematika merupakan arah pengembangan yang strategis dan relevan untuk mendukung perkembangan kognitif siswa secara lebih menyeluruh.

Discussion

Hasil kajian sistematis terhadap lima belas artikel utama menunjukkan bahwa integrasi *Artificial Intelligence* (AI) dan *Augmented Reality* (AR) dalam pembelajaran matematika memperlihatkan pola dampak kognitif yang relatif konsisten, meskipun dengan fokus variabel yang berbeda. Penelitian berbasis AI cenderung menekankan aspek personalisasi, analitik pembelajaran, serta penguatan pemecahan masalah melalui sistem tutor cerdas dan *adaptive learning* (Hariyanto et al., 2025; Nguyen & Pham, 2025; Yarlagadda, 2025). Hal ini sejalan dengan penelitian oleh Ruiz-Rojas et al. (2023) yang menegaskan bahwa pemanfaatan *generative AI* dalam desain pembelajaran matematika memungkinkan diferensiasi instruksi dan umpan balik adaptif yang lebih efektif. Sementara itu, penelitian berbasis AR menunjukkan

konsistensi pada peningkatan kemampuan spasial, visualisasi, serta pemahaman konseptual khususnya pada materi geometri (Akbar et al., 2025; Nadzeri et al., 2024; Tarnng et al., 2024; Yang et al., 2025). Temuan ini juga diperkuat oleh Nurwijaya & Sukaria (2025) yang menyebutkan bahwa media AR secara signifikan meningkatkan kemampuan spasial matematis siswa melalui manipulasi objek virtual. Penguatan dimensi visual melalui manipulasi objek konkret maupun virtual terbukti efektif dalam membangun struktur spasial siswa (Tyastuti et al., 2025). Pola tersebut menunjukkan bahwa AI dan AR memiliki kekuatan komplementer yaitu AI bekerja pada dimensi kognitif berbasis proses dan adaptivitas, sedangkan AR memperkuat dimensi representasional dan visualisasi konsep abstrak matematika.

Berdasarkan perspektif kemampuan berpikir tingkat tinggi (HOTS), temuan dari beberapa artikel menunjukkan bahwa AI lebih dominan dalam meningkatkan kemampuan *problem solving* melalui pemberian umpan balik otomatis, diagnosis kesalahan, serta rekomendasi strategi alternatif secara *real-time* (Kuo et al., 2026). Sistem tutor cerdas memungkinkan siswa merefleksikan langkah penyelesaian secara bertahap sehingga proses berpikir menjadi lebih terstruktur dan metakognitif. Hal ini selaras dengan penelitian oleh Yi et al. (2025) yang menunjukkan bahwa integrasi AI dalam pembelajaran matematika mampu meningkatkan efektivitas *problem solving* siswa secara signifikan. AR lebih kuat dalam memfasilitasi eksplorasi visual yang mendukung penalaran spasial dan koneksi antar representasi, misalnya melalui manipulasi objek tiga dimensi dalam geometri ruang (İslim et al., 2024; Yang et al., 2025). Kombinasi keduanya dalam penelitian integratif menunjukkan peningkatan signifikan pada *critical thinking* dan HOTS karena siswa tidak hanya melihat objek secara konkret, tetapi juga mendapatkan arahan adaptif berbasis data untuk memperdalam eksplorasi (Egunjobi & Adeyeye, 2024; Muzakki et al., 2025).

Integrasi AI–AR membentuk lingkungan belajar matematika yang bersifat adaptif–imersif. AI berfungsi sebagai “mesin kognitif” yang menganalisis pola respons siswa dan menyesuaikan tingkat kesulitan atau jenis *scaffolding*, sedangkan AR berfungsi sebagai “mesin visual” yang menjembatani abstraksi simbolik dengan representasi konkret. Model integratif ini memperlihatkan pergeseran paradigma dari pembelajaran prosedural menuju pembelajaran eksploratif berbasis pengalaman. Temuan Lampropoulos (2025a, 2025b) menegaskan bahwa integrasi teknologi cerdas dan imersif menciptakan pembelajaran berbasis pengalaman (*experiential learning*) yang memperkuat keterlibatan kognitif siswa. Hal ini sejalan dengan pernyataan Rahma & Nurlaelah (2024) yang menunjukkan bahwa teknologi digital secara umum memberikan efek positif terhadap capaian matematika, terutama ketika dikombinasikan dengan strategi pedagogis yang tepat.

Berdasarkan hasil kajian artikel menunjukkan bahwa penelitian integratif AI–AR dalam pembelajaran matematika masih terbatas dibandingkan penelitian AI atau AR secara terpisah. Sebagian besar penelitian masih berskala eksperimen terbatas dan belum banyak mengeksplorasi desain jangka panjang atau dampak longitudinal terhadap perkembangan kognitif siswa. Temuan ini konsisten dengan hasil kajian sistematis Pradiarti et al. (2025) yang menekankan bahwa studi teknologi pendidikan di Indonesia masih didominasi desain kuasi-eksperimental jangka pendek sehingga belum mampu memetakan dampak berkelanjutan terhadap kemampuan berpikir siswa. Selain itu, variasi desain penelitian dan instrumen asesmen kognitif menyebabkan perbandingan hasil antar penelitian belum sepenuhnya seragam. Hal tersebut mengindikasikan perlunya penelitian lanjutan yang menguji model integrasi AI–AR secara lebih komprehensif dengan desain kuasi-eksperimental atau *mixed-method* yang kuat.

Jika seluruh temuan disintesis, dapat disimpulkan bahwa pembelajaran matematika berbasis AI cenderung memperkuat dimensi adaptivitas dan pemecahan masalah, AR memperkuat visualisasi dan kemampuan spasial, sedangkan integrasi AI–AR menghadirkan potensi paling komprehensif dalam mengembangkan HOTS, *problem solving*, dan keterlibatan

kognitif secara simultan. Integrasi ini memungkinkan siswa tidak hanya memahami konsep secara visual, tetapi juga mengembangkan strategi penyelesaian yang fleksibel melalui umpan balik adaptif. Dengan demikian, integrasi AI dan AR bukan sekadar inovasi teknologi, melainkan strategi pedagogis strategis dalam merancang pembelajaran matematika abad ke-21 yang lebih bermakna, kontekstual, dan berorientasi pada penguatan kemampuan kognitif siswa secara menyeluruh.

Conclusion

Penelitian ini menyimpulkan bahwa integrasi *Artificial Intelligence* (AI) dan *Augmented Reality* (AR) dalam pembelajaran matematika memberikan dampak positif terhadap kemampuan kognitif siswa. Kajian sistematis terhadap lima belas artikel menunjukkan bahwa AI meningkatkan kemampuan pemecahan masalah, berpikir kritis, dan personalisasi pembelajaran melalui sistem tutor cerdas serta umpan balik adaptif. Penelitian juga menunjukkan bahwa AR meningkatkan kemampuan spasial, visualisasi, dan pemahaman konseptual melalui manipulasi objek virtual secara interaktif. Selain itu, penelitian integratif AI-AR menunjukkan peningkatan yang lebih komprehensif pada *Higher Order Thinking Skills* (HOTS) karena sistem adaptif AI mendukung eksplorasi visual AR secara terarah dan berbasis data. Dengan demikian, integrasi AI dan AR memperkuat dimensi proses kognitif sekaligus dimensi representasional dalam pembelajaran matematika.

Penelitian ini juga menemukan bahwa studi integratif AI-AR masih terbatas dibandingkan penelitian AI atau AR secara terpisah. Sebagian besar penelitian menggunakan desain eksperimen jangka pendek dengan variasi instrumen asesmen kognitif yang beragam. Kondisi tersebut menyebabkan perbandingan hasil antar penelitian belum sepenuhnya seragam dan belum menggambarkan dampak longitudinal terhadap perkembangan kognitif siswa. Oleh karena itu, penelitian selanjutnya perlu mengembangkan desain kuasi-eksperimental atau *mixed-method* yang lebih kuat untuk menguji efektivitas integrasi AI-AR secara berkelanjutan. Secara keseluruhan, penelitian ini menegaskan bahwa integrasi AI dan AR merupakan strategi pedagogis strategis yang relevan untuk mendukung pembelajaran matematika abad ke-21 yang adaptif, visual, dan berorientasi pada penguatan kemampuan kognitif siswa secara menyeluruh.

Acknowledgment

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Universitas Sunan Gresik atas dukungan akademik dan fasilitas penelitian yang diberikan selama proses penyusunan artikel ini. Penulis juga menyampaikan apresiasi kepada seluruh peneliti dan akademisi yang karya ilmiahnya menjadi referensi penting dalam kajian *systematic literature review* ini.

References

- Akbar, A., Herman, T., Suryadi, D., Mursalim, ., Alman, ., Putra, E. D., & Blegur, J. (2025). Integrating Augmented Reality in Mathematics Learning to Improve Critical Thinking Skills of Elementary School Students. *Emerging Science Journal*, 9(2), 764–779. <https://doi.org/10.28991/ESJ-2025-09-02-014>
- Egunjobi, D., & Adeyeye, O. J. (2024). Revolutionizing Learning: The Impact of Augmented Reality (AR) And Artificial Intelligence (AI on Education. *International Journal of Research Publication and Reviews*, 5(10), 1157–1170. <https://doi.org/10.55248/gengpi.5.1024.2734>
- Hariyanto, Kristianingsih, F. X. D., & Maharani, R. (2025). Artificial intelligence in adaptive education: a systematic review of techniques for personalized learning. *Discover Education*, 4(1), 458. <https://doi.org/10.1007/s44217-025-00908-6>

- Hidayatullah, S., Arliani, E., & Hidayati, K. (2025). ICT-Based Mathematics Learning Assessment: A Systematic Review of Effectiveness, Challenges, and Pedagogical Impacts. *Prisma Sains : Jurnal Pengkajian Ilmu Dan Pembelajaran Matematika Dan IPA IKIP Mataram*, 13(4), 916–932. <https://doi.org/10.33394/j-ps.v13i4.16987>
- İslim, Ö. F., Namlı, Ş., Sevim, N., Özçakır, B., & Lavicza, Z. (2024). Augmented Reality in Mathematics Education: A Systematic Review. *Participatory Educational Research*, 11(4), 115–139. <https://doi.org/10.17275/per.24.52.11.4>
- Judijanto, L., Alfiah, A., & Khusnah, W. D. (2025). Integration Of Artificial Intelligence And Augmented Reality In Learning In The 5.0 Era. *Jurnal Ilmiah Edukatif*, 11(01), 58–67.
- Kuo, B.-C., Bai, Z.-E., & Lin, C.-H. (2026). Developing an AI learning companion for mathematics problem solving in elementary schools. *Computers & Education*, 240, 105463. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2025.105463>
- Lampropoulos, G. (2025a). Augmented Reality, Virtual Reality, and Intelligent Tutoring Systems in Education and Training: A Systematic Literature Review. *Applied Sciences*, 15(6), 3223. <https://doi.org/10.3390/app15063223>
- Lampropoulos, G. (2025b). Combining Artificial Intelligence with Augmented Reality and Virtual Reality in Education: Current Trends and Future Perspectives. *Multimodal Technologies and Interaction*, 9(2), 11. <https://doi.org/10.3390/mti9020011>
- Muzakki, A., Wuryaningrum, R., & Yulianti, N. (2025). The Effect of Integrated Learning Management System with Augmented Reality and Artificial Intelligence on Critical Thinking Ability and Digital Literacy in Elementary Schools. *European Journal of Education and Pedagogy*, 6(3), 22–28. <https://doi.org/10.24018/ejedu.2025.6.3.930>
- Nadzeri, M. B., Musa, M., Cheng Meng, C., & Ismail, I. M. (2024). The Effects of Augmented Reality Geometry Learning Applications on Spatial Visualization Ability for Primary School Pupils. *International Journal of Interactive Mobile Technologies (IJIM)*, 18(16), 104–118. <https://doi.org/10.3991/ijim.v18i16.47079>
- Nguyen, D. T., & Pham, Q. Van. (2025). The evolving landscape of AI integration in mathematics education: A systematic review of trends (2015-2025). *Eurasia Journal of Mathematics, Science and Technology Education*, 21(10), em2714. <https://doi.org/10.29333/ejmste/17078>
- Nurwijaya, S., & Sukaria, M. I. (2025). AUGMENTED REALITY (AR) DALAM PEMBELAJARAN GEOMETRI: DAMPAK PADA SPASIAL REASONING SISWA. *Pedagogy: Jurnal Pendidikan Matematika*, 10(2), 471–481. <https://doi.org/10.30605/pedagogy.v10i2.5953>
- OECD. (2024). *PISA 2022 results (Volume III): Country factsheet Indonesia*.
- Pradiarti, R. A., Fuady, A., & Puspitasari, L. (2025). Improving students' problem solving ability in solving mathematical problems on linear function topic through PBL model assisted by GeoGebra with TaRL approach. *Union: Jurnal Ilmiah Pendidikan Matematika*, 13(3), 789–801. <https://doi.org/10.30738/union.v13i3.19871>
- Pradiarti, R. A., & Hidayanto, E. (2024). PENERAPAN PEMBELAJARAN MATEMATIKA DENGAN PENDEKATAN SAINTIFIK BERBANTUAN WORKSHEET GEOGEBRA DAN LKPD DENGAN PENDEKATAN PBL PADA MATERI MATRIKS. *Jurnal MIPA Dan Pembelajarannya*, 4(11), 2024. <https://doi.org/10.17977/um067.v4.i11.2024.5>
- Pradiarti, R. A., Shiyamsyah, F. S. F., Hajjah, R. R., & Fitriyah Tyastuti, I. (2025). Kajian Systematic Literature Review: Analisis Tren dan Pola Berpikir Kreatif Matematis Siswa Sekolah Dasar dalam Menyelesaikan Soal Open-Ended. *Wahana Matematika Dan Sains: Jurnal Matematika, Sains, Dan Pembelajarannya*, 19(3), 76–94.
- Pradiarti, R. A., & Subanji. (2022). Kemampuan Pemecahan Masalah Matematis Siswa SMP ditinjau dari Gaya Kognitif. *Mosharafa: Jurnal Pendidikan Matematika*, 11(3), 379–390. <https://doi.org/10.31980/mosharafa.v11i3.729>

- Pradiarti, R. A., Sudirman, S., & Sisworo, S. (2024a). Kemampuan Berpikir Kreatif Siswa dalam Menyelesaikan Masalah Open Ended Materi Geometri. *Teorema: Teori Dan Riset Matematika*, 9(1), 93. <https://doi.org/10.25157/teorema.v9i1.12782>
- Pradiarti, R. A., Sudirman, S., & Sisworo, S. (2024b). Students' Creative Thinking Process in Solving Multiple Solution Tasks on Geometry Material. *Jurnal Pendidikan MIPA*, 25(1), 248–263. <https://doi.org/10.23960/jpmipa/v25i1.pp248-263>
- Rahma, F. A., & Nurlaelah, E. (2024). Effectiveness of Digital Technology on Enhancing Mathematics Achievement of Indonesian Secondary Schools Students': A Meta-Analysis Research from 2018-2023. *Jurnal Pendidikan MIPA*, 25(2), 803–813. <https://doi.org/10.23960/jpmipa/v25i2.pp803-813>
- Ruiz-Rojas, L. I., Acosta-Vargas, P., De-Moreta-Llovet, J., & Gonzalez-Rodriguez, M. (2023). Empowering Education with Generative Artificial Intelligence Tools: Approach with an Instructional Design Matrix. *Sustainability*, 15(15), 11524. <https://doi.org/10.3390/su151511524>
- Tarng, W., Huang, J.-K., & Ou, K.-L. (2024). Improving Elementary Students' Geometric Understanding Through Augmented Reality and Its Performance Evaluation. *Systems*, 12(11), 493. <https://doi.org/10.3390/systems12110493>
- Tyastuti, I. F., Pradiarti, R. A., Sabar, & Erdiana, M. (2025). PENGARUH PENGGUNAAN MEDIA TIGA DIMENSI JARING-JARING KUBUS TERHADAP KEMAMPUAN VISUALISASI SPASIAL PESERTA DIDIK KELAS VI PADA MATERI GEOMETRI DI SDN PAYAMAN. *Didaktik : Jurnal Ilmiah PGSD STKIP Subang*, 11(04), 337–349. <https://doi.org/https://doi.org/10.36989/didaktik.v11i04.10426>
- UNESCO. (2024). *Global Understanding of Smart Education in the Context of Digital Transformation*.
- Usman, A., Amalia, A. I., Safari, D. M., Nissa, L. M., Lestari, N. P., & Ependi, R. (2025). Pelatihan Pengembangan Modul Ajar Matematika Berbasis Artificial Intelligence untuk Guru SD. *Jurnal Indonesia Mengabdi*, 7(2), 166–174. <https://journal.unuha.ac.id/index.php/JIMi/166>
- Yang, Y., Du, W., Mavrikis, M., & Geraniou, E. (2025). Spatial Skill Development Through Augmented Reality in Mathematics Education: A Scoping Review. *Digital Experiences in Mathematics Education*. <https://doi.org/10.1007/s40751-025-00187-8>
- Yanuarto, W. N., & Iqbal, A. M. (2022). The Augmented Reality Learning Media to Improve Mathematical Spatial Ability in Geometry Concept. *Edumatica : Jurnal Pendidikan Matematika*, 12(01), 30–40. <https://doi.org/10.22437/edumatica.v12i01.17615>
- Yarlagadda, K. C. (2025). AI in Education: Personalized Learning and Intelligent Tutoring Systems. *European Journal of Computer Science and Information Technology*, 13(32), 15–27. <https://doi.org/10.37745/ejcsit.2013/vol13n321527>
- Yi, L., Liu, D., Jiang, T., & Xian, Y. (2025). The Effectiveness of AI on K-12 Students' Mathematics Learning: A Systematic Review and Meta-Analysis. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 23(4), 1105–1126. <https://doi.org/10.1007/s10763-024-10499-7>
- Zuo, R., Wenling, L., & Xuemei, Z. (2025). Augmented Reality and Student Motivation: A Systematic Review (2013-2024). *Journal of Computers for Science and Mathematics Learning*, 2(1), 38–52. <https://doi.org/10.70232/jcsml.v2i1.23>