



***Augmented Reality* dalam Pembelajaran Geometri: Dampak, Tantangan, dan Arah Masa Depan**

Asmaun^{1*}

¹ Jurusan Matematika, Fakultas MIPA, Universitas Negeri Makassar, Makassar 90224, Indonesia

* Penulis Korespondensi. Email: asmaun@unm.ac.id

ABSTRAK

Perkembangan teknologi digital dalam pendidikan telah membuka peluang baru bagi inovasi pembelajaran matematika, khususnya pada materi geometri yang menuntut kemampuan visualisasi spasial tinggi. Salah satu inovasi yang berkembang pesat adalah *Augmented Reality* (AR), yaitu teknologi yang memadukan dunia nyata dan elemen virtual secara interaktif. Artikel ini merupakan kajian literatur sistematis yang bertujuan untuk menelaah tren, efektivitas, dan tantangan integrasi AR dalam pembelajaran geometri. Data diperoleh dari artikel-artikel terindeks Scopus, Sinta, dan Google Scholar, yang kemudian dianalisis secara tematik berdasarkan fokus penelitian, hasil empiris, dan kontribusinya terhadap pembelajaran matematika. Hasil kajian menunjukkan bahwa penerapan AR mampu meningkatkan kemampuan spasial, pemahaman konseptual, serta keterlibatan dan motivasi belajar siswa. Aplikasi seperti *GeoGebra AR* dan *3D AR Escape Room* terbukti efektif dalam mendukung visualisasi konsep geometri dan menghubungkan teori dengan konteks nyata. Namun, keberhasilan implementasi AR masih dipengaruhi oleh faktor ketersediaan perangkat, literasi digital guru, dan desain pedagogis yang belum sepenuhnya terintegrasi. Kajian ini merekomendasikan pengembangan model pembelajaran berbasis AR yang lebih adaptif dan kontekstual, serta penelitian lanjutan terkait dampak jangka panjang AR terhadap kemampuan berpikir geometri tingkat tinggi.

Kata Kunci:

Augmented Reality, pembelajaran geometri, kemampuan spasial, GeoGebra AR, literatur review

ABSTRACT

The development of digital technology in education has opened new opportunities for innovation in mathematics learning, particularly in geometry, which demands high spatial visualization skills. One rapidly developing innovation is *Augmented Reality* (AR), a technology that interactively combines real-world and virtual elements. This article is a systematic literature review that aims to examine the trends, effectiveness, and challenges of AR integration in geometry learning. Data were obtained from articles indexed in Scopus, Sinta, and Google Scholar, which were then analyzed thematically based on the research focus, empirical results, and their contribution to mathematics learning. The results of the study indicate that the application of AR can improve spatial ability, conceptual understanding, as well as student engagement and motivation in learning. Applications such as *GeoGebra AR* and *3D AR Escape Room* have proven effective in supporting the visualization of geometric concepts and connecting theory to real-world contexts. However, the success of AR implementation is still influenced by factors such as device availability, teacher digital literacy, and pedagogical design that are not yet fully integrated. This study recommends the development of more adaptive and contextual AR-based learning models, as well as further research regarding the long-term impact of AR on higher-order geometric thinking skills.

Keywords:

Augmented Reality, geometry learning, spatial ability, GeoGebra AR, literature review

1. Pendahuluan

Perkembangan teknologi digital telah memberikan dampak signifikan terhadap dunia pendidikan, khususnya dalam cara siswa belajar dan memahami konsep abstrak seperti geometri. Perubahan paradigma pembelajaran abad ke-21 menuntut integrasi teknologi yang tidak hanya memfasilitasi akses informasi, tetapi juga meningkatkan pengalaman belajar yang bermakna dan kontekstual. Salah satu inovasi yang semakin mendapat perhatian adalah *Augmented Reality* (AR) – teknologi yang menggabungkan dunia nyata dengan elemen virtual tiga dimensi secara interaktif [1]. Dalam konteks pembelajaran matematika, AR berpotensi besar meningkatkan pemahaman spasial dan representasi visual siswa terhadap objek-objek geometri [2, 3].

Geometri, sebagai salah satu cabang utama dalam matematika, memainkan peran penting dalam pengembangan kemampuan berpikir logis, analitis, dan spasial. Namun, berbagai penelitian menunjukkan bahwa banyak siswa mengalami kesulitan dalam memahami konsep geometri karena karakteristiknya yang abstrak dan menuntut kemampuan visualisasi tiga dimensi yang tinggi [4-7]. Materi seperti bangun ruang, transformasi geometri, dan hubungan spasial sering kali sulit dipahami hanya melalui media dua dimensi atau pembelajaran konvensional. Di sinilah teknologi AR berpotensi menjadi solusi inovatif karena memungkinkan siswa berinteraksi langsung dengan objek geometri dalam ruang nyata secara visual dan dinamis.

Urgensi penerapan AR dalam pembelajaran geometri semakin relevan seiring dengan meningkatnya kebutuhan akan pembelajaran yang interaktif dan berorientasi pada pengalaman (*experiential learning*). Penelitian terbaru menunjukkan bahwa penggunaan aplikasi seperti GeoGebra AR, 3D AR Escape Room, dan berbagai *AR-based learning environments* tidak hanya meningkatkan keterlibatan siswa, tetapi juga memperdalam pemahaman konseptual mereka [8, 9]. Selain itu, AR terbukti mendukung *project-based learning* (Lainufar et al., 2021) dan *problem-based learning* dengan memperkuat koneksi antara teori dan konteks dunia nyata. Hal ini menjadikan AR sebagai salah satu pendekatan pembelajaran yang sejalan dengan prinsip *Merdeka Belajar* dan *STEM education* yang tengah dikembangkan di Indonesia.

Meskipun potensi AR dalam pembelajaran matematika telah banyak diidentifikasi, masih terdapat kesenjangan penelitian dalam memahami bagaimana teknologi ini secara spesifik mempengaruhi kemampuan berpikir geometri dan spasial siswa, terutama jika dikaitkan dengan model pembelajaran tertentu dan level pendidikan yang berbeda. Beberapa studi masih terbatas pada aspek *usability* dan *student engagement* tanpa mengkaji secara mendalam dampak kognitif dan konseptualnya [10, 11]. Selain itu, sebagian besar penelitian dilakukan di konteks pendidikan tinggi, sementara penerapan di tingkat sekolah menengah masih jarang dijelajahi secara komprehensif. Oleh karena itu, kajian literatur ini bertujuan untuk meninjau tren, efektivitas, serta tantangan implementasi AR dalam pembelajaran geometri, dengan fokus pada kontribusi teknologi ini terhadap kemampuan berpikir spasial, pemahaman konseptual, dan keterlibatan siswa. Hasil kajian ini diharapkan dapat memberikan arah baru bagi penelitian dan praktik pembelajaran berbasis AR di masa depan.

2. Metode atau Model

Penelitian ini menggunakan pendekatan literatur review sistematis yang bertujuan untuk menelaah dan mensintesis berbagai hasil penelitian terkait integrasi *Augmented Reality* (AR) dalam pembelajaran matematika, khususnya pada topik geometri. Pendekatan ini dipilih karena mampu memberikan gambaran menyeluruh mengenai tren penelitian, efektivitas implementasi, serta kesenjangan (research gap) yang masih ada dalam kajian AR di bidang pendidikan matematika. Prosedur pelaksanaan literatur review ini mengikuti tahapan pencarian sumber, seleksi berdasarkan kriteria inklusi, pengumpulan korpus literatur, serta analisis data menggunakan pendekatan tematik.

Tahap pertama adalah pencarian sumber literatur. Proses pencarian dilakukan secara sistematis melalui beberapa basis data bereputasi, yaitu Scopus, Sinta, dan Google Scholar, yang dikenal memiliki cakupan luas terhadap publikasi ilmiah di bidang teknologi pendidikan dan matematika. Kata kunci yang digunakan dalam pencarian meliputi: "*Augmented Reality*", "*Mathematics Education*", "*Geometry*", dan "*Spatial Thinking*". Kombinasi kata kunci tersebut dirancang untuk memastikan bahwa artikel yang ditemukan benar-benar relevan dengan fokus penelitian, yaitu penggunaan AR dalam konteks pembelajaran geometri. Proses pencarian dilakukan pada periode Juli hingga Oktober 2025, dengan mempertimbangkan literatur yang terbit dalam rentang waktu 2013 hingga 2025 untuk menangkap evolusi dan tren terkini.

Tahap kedua adalah seleksi artikel berdasarkan kriteria inklusi dan eksklusi yang jelas. **Kriteria inklusi** meliputi: (1) artikel dipublikasikan tahun 2013–2025; (2) fokus penelitian membahas integrasi AR dalam pembelajaran matematika atau geometri; (3) memuat data empiris, hasil eksperimen, studi kasus, atau systematic review; (4) tersedia dalam bahasa Inggris atau Indonesia.

Kriteria eksklusi meliputi: (1) artikel konseptual murni tanpa data empiris; (2) penelitian yang menggunakan AR tetapi tidak terkait pembelajaran matematika/ geometri; (3) publikasi non-peer reviewed seperti blog, opini, atau laporan internal; (4) artikel yang tidak menyediakan informasi metodologi secara memadai.

Proses seleksi dilakukan melalui penyaringan judul dan abstrak, kemudian dilanjutkan dengan pembacaan penuh untuk memastikan kesesuaian konteks dan kontribusi penelitian.

Tahap ketiga adalah penyusunan korpus literatur. Dari hasil pencarian awal yang menghasilkan lebih dari 40 artikel potensial, sebanyak 20 artikel dipilih karena memenuhi seluruh kriteria inklusi. Artikel-artikel tersebut berasal dari berbagai jurnal bereputasi seperti *Procedia Computer Science*, *Thinking Skills and Creativity*, *Journal of Physics: Conference Series*, *International Journal of Educational Research Open*, dan *CEUR Workshop Proceedings*. Pemilihan jurnal ini mencerminkan variasi konteks penelitian yang melibatkan peserta didik dari jenjang sekolah dasar hingga perguruan tinggi, serta penggunaan berbagai aplikasi AR seperti *GeoGebra AR*, *AR-based Geometry Learning Environment*, dan *3D AR Escape Room*.

Tahap terakhir adalah analisis data, yang dilakukan dengan menggunakan pendekatan tematik dan tren (thematic synthesis). Setiap artikel ditelaah secara mendalam untuk mengidentifikasi tema-tema utama yang muncul, meliputi: (1) tujuan penggunaan AR dalam pembelajaran matematika, (2) dampak AR terhadap hasil belajar siswa baik secara kognitif maupun afektif, (3) jenis aplikasi dan strategi pembelajaran yang digunakan, serta (4) tantangan dan keterbatasan implementasi AR dalam konteks

pendidikan. Hasil analisis kemudian disintesis untuk memperoleh pemahaman yang lebih komprehensif mengenai pola dan arah perkembangan penelitian di bidang ini. Pendekatan tematik ini memungkinkan peneliti mengidentifikasi baik kesamaan maupun perbedaan antar studi, sehingga dapat memetakan kontribusi dan celah penelitian yang masih terbuka untuk dikembangkan lebih lanjut.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Tren Riset dan Perkembangan

Riset awal mengenai penerapan *Augmented Reality* (AR) dalam pendidikan umumnya berfokus pada aspek teknologi dan pengembangan media pembelajaran, seperti desain antarmuka, interaktivitas, serta integrasi antara dunia nyata dan elemen virtual [1, 10]. Pada tahap ini, penelitian masih menitikberatkan pada bagaimana AR dapat dioperasikan secara teknis, tingkat kelayakan penggunaan perangkat, serta penerimaan awal pengguna (guru maupun siswa). Tujuannya adalah untuk memastikan bahwa teknologi AR dapat berfungsi dengan baik sebagai alat bantu visual dan memiliki potensi untuk diterapkan dalam konteks pendidikan formal. Beberapa studi awal bahkan masih memposisikan AR sebagai media demonstratif yang berperan menggantikan alat peraga fisik dalam kelas.

Namun, seiring dengan perkembangan teknologi serta meningkatnya minat terhadap pembelajaran berbasis inovasi digital, arah penelitian AR mulai bergeser dari aspek teknis menuju aspek pedagogis dan psikologis, khususnya yang berkaitan dengan peningkatan kemampuan kognitif dan afektif siswa. Sejak tahun 2018 hingga 2020, muncul berbagai penelitian yang menunjukkan bahwa AR tidak hanya sekadar media bantu, tetapi juga berfungsi sebagai lingkungan belajar interaktif yang mampu membangun pengalaman belajar imersif (*immersive learning environment*). Dalam konteks pembelajaran matematika, teknologi AR digunakan untuk membantu siswa memahami konsep abstrak melalui eksplorasi visual tiga dimensi, manipulasi objek geometri secara langsung, dan keterlibatan aktif dalam proses konstruksi pengetahuan [2, 12].

Periode setelah tahun 2020 menunjukkan lonjakan signifikan dalam jumlah riset yang menyoroti penerapan AR secara khusus pada pembelajaran geometri, baik di tingkat sekolah menengah maupun perguruan tinggi. Pergeseran ini menunjukkan adanya kesadaran ilmiah bahwa geometri merupakan salah satu domain matematika yang paling diuntungkan oleh kehadiran teknologi berbasis visualisasi spasial. Aplikasi seperti GeoGebra AR menjadi pionir dalam mengintegrasikan visualisasi geometri 3D dengan dunia nyata, memungkinkan siswa untuk memproyeksikan bangun ruang ke lingkungan sekitar mereka, memutar objek, serta mengamati relasi spasial dari berbagai sudut pandang [4, 9].

Selain GeoGebra AR, muncul pula berbagai inisiatif inovatif seperti 3D AR Escape Room [8] dan AR Spatial Transformation Applications [13] yang menggabungkan unsur permainan, pemecahan masalah, dan kolaborasi untuk meningkatkan keterlibatan serta motivasi belajar siswa. Perkembangan ini menandai pergeseran paradigma dari “AR sebagai alat bantu visual” menjadi “AR sebagai medium pembelajaran aktif dan konstruktif”. Dengan kata lain, penelitian terkini tidak lagi hanya menilai efektivitas AR dari sisi tampilan dan antarmuka, tetapi juga mengeksplorasi bagaimana pengalaman

imersif yang dihasilkan AR dapat membentuk cara berpikir spasial, logis, dan konseptual siswa dalam memahami geometri.

3.2. Dampak terhadap Kemampuan Spasial dan Pemahaman Konseptual

Salah satu temuan paling menonjol dari berbagai penelitian adalah bahwa integrasi *Augmented Reality* (AR) dalam pembelajaran geometri memberikan dampak positif terhadap kemampuan berpikir spasial dan pemahaman konseptual siswa. Kemampuan spasial berperan penting dalam pembelajaran geometri karena berkaitan dengan kemampuan untuk membayangkan, memutar, dan memanipulasi objek dalam ruang tiga dimensi. AR, dengan kemampuannya menampilkan objek virtual secara realistis dalam konteks dunia nyata, memungkinkan siswa untuk melihat, menyentuh, dan mengeksplorasi representasi visual geometri yang sebelumnya hanya dapat dibayangkan secara abstrak [1, 14].

Penelitian yang dilakukan sebelumnya menunjukkan bahwa penggunaan AR dalam pembelajaran geometri pada siswa SMP mampu meningkatkan kemampuan berpikir geometri berdasarkan teori Van Hiele, khususnya dalam transisi dari tahap visualisasi menuju analisis [15]. Temuan ini sejalan dengan hasil penelitian yang menggunakan *GeoGebra AR* dan melaporkan peningkatan signifikan dalam kemampuan siswa untuk mengenali sifat-sifat bangun ruang, menganalisis hubungan antar unsur geometri, serta mengkomunikasikan ide-ide spasial secara lebih jelas [16]. Siswa yang belajar menggunakan AR menunjukkan kecenderungan lebih tinggi dalam menggunakan istilah matematis yang tepat dan mampu mengaitkan bentuk visual dengan simbol atau notasi formal.

Selain meningkatkan kemampuan spasial, AR juga berperan dalam memperdalam pemahaman konseptual. Studi mengungkapkan bahwa integrasi AR dalam pembelajaran matematika tidak hanya memfasilitasi visualisasi konsep, tetapi juga mendorong siswa untuk membangun pemahaman melalui eksplorasi mandiri [3]. Dalam lingkungan belajar AR, siswa dapat memanipulasi objek geometri secara langsung, mengamati perubahan yang terjadi secara real time, dan menghubungkannya dengan konsep teoretis. Hal ini memperkuat proses konstruksi pengetahuan sebagaimana dijelaskan dalam teori konstruktivisme Piaget, di mana pengetahuan dibangun secara aktif melalui interaksi dengan lingkungan.

Lebih jauh lagi, penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa penggunaan AR dalam konteks *spatial transformation matrices* membantu mahasiswa memahami hubungan antara representasi aljabar dan transformasi geometris [13]. Dengan memvisualisasikan efek transformasi seperti rotasi, translasi, dan refleksi dalam ruang tiga dimensi, siswa dapat mengaitkan operasi matematis abstrak dengan representasi visual konkret. Temuan ini menegaskan bahwa AR berperan penting dalam mengatasi kesenjangan antara abstraksi simbolik dan pemahaman visual, yang selama ini menjadi kendala utama dalam pembelajaran geometri.

Selain aspek kognitif, AR juga berdampak pada motivasi dan keterlibatan siswa. Penelitian oleh Zapata et al. tentang penggunaan *3D AR Escape Room* menunjukkan bahwa lingkungan belajar berbasis permainan mampu meningkatkan partisipasi aktif, rasa ingin tahu, dan kerja sama antar siswa [8]. Dengan menghadirkan tantangan kontekstual dan interaktif, siswa terdorong untuk berpikir kritis dan memecahkan masalah geometri secara kolaboratif. Hal serupa juga ditemukan dalam konteks pembelajaran etnomatematika berbasis AR, di mana siswa menunjukkan peningkatan

minat belajar dan rasa percaya diri ketika konsep geometri dikaitkan dengan konteks budaya dan kehidupan sehari-hari [17].

Secara keseluruhan, hasil-hasil tersebut menegaskan bahwa *Augmented Reality* berfungsi tidak hanya sebagai alat bantu visualisasi, tetapi juga sebagai media pembelajaran yang mampu menstimulasi berpikir tingkat tinggi (*higher-order thinking skills*), termasuk kemampuan analisis, evaluasi, dan sintesis konsep. Dengan menyediakan pengalaman belajar yang imersif dan multimodal, AR membantu siswa membangun koneksi antara pengalaman konkret, representasi visual, dan konsep matematis abstrak secara terpadu. Oleh karena itu, integrasi AR dalam pembelajaran geometri dapat dipandang sebagai strategi pedagogis yang efektif untuk mengembangkan kompetensi spasial dan konseptual siswa secara bersamaan.

3.3. AR sebagai Media Kontekstual dan Problem-Based Learning

Perkembangan penerapan *Augmented Reality* (AR) dalam pendidikan tidak hanya berkaitan dengan inovasi teknologi, tetapi juga dengan bagaimana teknologi tersebut diintegrasikan ke dalam model pembelajaran yang bermakna secara pedagogis. AR menjadi lebih efektif ketika digunakan bukan sekadar sebagai alat bantu visual, melainkan sebagai bagian integral dari strategi pembelajaran aktif dan kontekstual. Berbagai penelitian menunjukkan bahwa integrasi AR dengan model pembelajaran seperti *Project-Based Learning* (PjBL), *Problem-Based Learning* (PBL), dan *Collaborative Learning* dapat memperkaya pengalaman belajar dan meningkatkan kualitas hasil belajar siswa [4, 8].

Penelitian sebelumnya menyoroti potensi penggunaan GeoGebra AR dalam konteks *Project-Based Learning* [4]. Dalam studi tersebut, siswa diajak untuk merancang proyek geometri berbasis AR, seperti membangun model bangun ruang atau merancang objek tiga dimensi yang dapat divisualisasikan melalui perangkat seluler. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pendekatan ini mampu meningkatkan kemandirian belajar, kemampuan berpikir kritis, serta kreativitas siswa dalam menerapkan konsep geometri pada situasi nyata. Dengan melibatkan siswa secara aktif dalam eksplorasi dan konstruksi pengetahuan, AR mendukung prinsip dasar PjBL, yaitu pembelajaran berbasis pengalaman dan pemecahan masalah kontekstual.

Selain itu, integrasi AR dalam *Problem-Based Learning* (PBL) juga terbukti efektif dalam meningkatkan kemampuan analitis dan pemecahan masalah matematis. Studi menemukan bahwa penggunaan *AR-based learning environment* membantu siswa memahami konsep geometri melalui simulasi interaktif dan eksperimen langsung terhadap objek virtual [2]. Dalam skenario PBL, siswa dihadapkan pada masalah geometri nyata yang harus dipecahkan dengan bantuan AR, sehingga proses belajar menjadi lebih aktif, kolaboratif, dan berorientasi pada penemuan (*discovery learning*). Dengan demikian, AR tidak hanya memvisualisasikan konsep tetapi juga memfasilitasi proses berpikir ilmiah dan pengambilan keputusan berbasis data visual.

Model pembelajaran kolaboratif dan berbasis permainan (*game-based learning*) juga menjadi tren baru dalam integrasi AR di kelas geometri. Penelitian melalui konsep *3D Augmented Reality Escape Room* menunjukkan bahwa aktivitas berbasis tantangan (*escape mission*) mampu menumbuhkan kerja sama antar siswa, meningkatkan motivasi intrinsik, dan memperkuat keterlibatan emosional dalam belajar [8]. Pendekatan ini secara efektif menggabungkan unsur permainan dengan pembelajaran berbasis

masalah, di mana siswa tidak hanya belajar konsep geometri tetapi juga mengasah kemampuan berpikir kritis, komunikasi, dan kolaborasi.

Integrasi AR juga telah diadaptasi ke dalam konteks pembelajaran etnomatematika dan STEAM education, yang menekankan keterkaitan antara matematika, seni, dan budaya. Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa pembelajaran etnomatematika berbasis AR membantu siswa memahami bentuk-bentuk geometri yang terinspirasi dari motif budaya lokal, seperti pola anyaman dan arsitektur tradisional [17]. Pendekatan ini tidak hanya memperkuat pemahaman konsep, tetapi juga menumbuhkan kesadaran budaya serta apresiasi terhadap penerapan matematika dalam kehidupan sehari-hari. Demikian pula penelitian yang lain menegaskan bahwa integrasi AR dalam pembelajaran STEAM (Science, Technology, Engineering, Arts, Mathematics) efektif dalam mengembangkan spatial reasoning dan kreativitas mahasiswa, terutama dalam konteks desain dan konstruksi objek tiga dimensi [14]. Penggunaan fitur Augmented Reality (AR) yang terdapat pada software Geogebra 3D dalam pembelajaran jarak dimensi tiga dengan pendekatan STEM dapat membantu siswa memahami konsep jarak dimensi tiga serta dapat membuat siswa lebih aktif dalam pembelajaran di kelas [18].

Dengan berbagai model pembelajaran tersebut, terlihat bahwa AR berperan sebagai katalis dalam transformasi pembelajaran geometri dari sekadar aktivitas kognitif menjadi pengalaman belajar yang holistik, kontekstual, dan interaktif. Keberhasilan integrasi AR tidak hanya bergantung pada kecanggihan teknologinya, tetapi terutama pada bagaimana guru mampu merancang aktivitas pembelajaran yang memanfaatkan potensi AR secara optimal. Guru perlu berperan sebagai fasilitator yang mengarahkan eksplorasi siswa, bukan sekadar penyampai informasi. Dengan demikian, integrasi AR dalam model pembelajaran kontekstual mampu membangun keseimbangan antara aspek kognitif, afektif, dan psikomotorik dalam pembelajaran geometri.

3.4. Tantangan Implementasi

Meskipun berbagai studi menunjukkan efektivitas *Augmented Reality* (AR) dalam meningkatkan pembelajaran geometri, implementasinya di lapangan masih menghadapi sejumlah tantangan yang kompleks. Tantangan ini tidak hanya berkaitan dengan aspek teknis, tetapi juga melibatkan dimensi pedagogis, psikologis, dan institusional yang saling berinteraksi.

Beberapa tantangan yang ditimbulkan oleh AR antara lain masalah kegunaan dan masalah teknis yang sering terjadi [19]. Salah satu kendala utama adalah keterbatasan infrastruktur dan sumber daya teknologi. Tidak semua sekolah memiliki perangkat pendukung yang memadai, seperti smartphone dengan spesifikasi tinggi, koneksi internet stabil, atau laboratorium komputer yang mendukung aplikasi berbasis AR [20]. Namun, seperti teknologi inovatif lainnya, AR juga memiliki hambatannya dalam pembelajaran matematika, antara lain adalah kebutuhan pelatihan khusus bagi guru matematika, serta tantangan teknis dan kompatibilitas alat [21]. Akibatnya, penerapan AR sering kali hanya dilakukan secara terbatas atau dalam bentuk demonstrasi oleh guru, bukan sebagai bagian dari aktivitas belajar yang sistematis dan berkelanjutan. Selain itu, masalah kompatibilitas perangkat dan aksesibilitas aplikasi AR juga menjadi hambatan bagi sekolah di daerah dengan sumber daya terbatas.

Selain faktor teknis, kesiapan dan literasi digital guru juga menjadi isu penting. Menurut penelitian bahwa Meskipun AR menawarkan peluang pembelajaran baru, AR juga menciptakan tantangan baru bagi para pendidik [22]. Banyak guru matematika yang

masih memiliki keraguan dan keterbatasan kompetensi dalam menggunakan teknologi baru seperti AR. Sebagian guru menganggap teknologi ini terlalu rumit untuk diimplementasikan dalam pembelajaran sehari-hari atau tidak sesuai dengan kurikulum yang ada [9]. Padahal, keberhasilan AR sangat bergantung pada bagaimana guru mampu merancang skenario pembelajaran yang bermakna, mengintegrasikan aktivitas AR dengan tujuan pembelajaran, serta melakukan asesmen yang relevan dengan pengalaman virtual siswa. Oleh karena itu, diperlukan pelatihan pedagogi digital dan pendampingan berkelanjutan agar guru tidak hanya menjadi pengguna, tetapi juga perancang pengalaman belajar berbasis AR.

Tantangan berikutnya berkaitan dengan desain instruksional dan kebermaknaan pembelajaran. Beberapa studi menunjukkan bahwa penggunaan AR secara dangkal – misalnya hanya untuk menampilkan model 3D tanpa aktivitas reflektif atau eksploratif – tidak memberikan dampak signifikan terhadap peningkatan hasil belajar [2]. Penggunaan AR harus dikaitkan dengan konteks problem solving dan inquiry learning agar siswa benar-benar mengonstruksi pengetahuannya sendiri. Hal ini menuntut pengembangan model desain pembelajaran yang mengintegrasikan AR dengan strategi berpikir tingkat tinggi, seperti *Higher Order Thinking Skills (HOTS)* dan *computational thinking*.

Selain itu, terdapat pula tantangan psikologis dan kognitif yang berkaitan dengan beban mental siswa. Studi oleh Radu mengungkapkan bahwa meskipun AR mampu meningkatkan atensi dan motivasi, penggunaan berlebihan atau desain visual yang terlalu kompleks dapat menimbulkan cognitive overload, terutama bagi siswa dengan kemampuan spasial rendah [1]. Oleh karena itu, keseimbangan antara kompleksitas visual dan keterpahaman konsep perlu diperhatikan agar AR benar-benar berfungsi sebagai alat bantu belajar, bukan gangguan visual.

Dari sisi riset, sebagian besar penelitian tentang AR dalam pembelajaran geometri masih bersifat eksperimen jangka pendek dengan sampel kecil, serta berfokus pada hasil kognitif (misalnya peningkatan pemahaman konsep). Masih sedikit penelitian yang mengeksplorasi dampak jangka panjang AR terhadap pengembangan keterampilan abad ke-21, seperti kolaborasi, kreativitas, komunikasi, dan literasi digital. Selain itu, kajian longitudinal dan mixed-methods yang menggabungkan analisis kuantitatif dan kualitatif juga masih jarang dilakukan, padahal pendekatan tersebut penting untuk memahami dinamika perubahan perilaku belajar secara mendalam.

Arah penelitian selanjutnya perlu difokuskan pada beberapa hal penting. Pertama, pengembangan model pembelajaran berbasis AR yang adaptif, yang mampu menyesuaikan konten dan tingkat kesulitan sesuai kemampuan siswa. Kedua, eksplorasi penerapan AR dalam pembelajaran berbasis proyek (PjBL) dan diferensiasi, yang memberikan ruang bagi siswa untuk berkreasi dan menghubungkan konsep geometri dengan dunia nyata. Ketiga, pengembangan framework evaluasi efektivitas AR yang mencakup dimensi kognitif, afektif, dan psikomotorik, sehingga hasil riset dapat memberikan kontribusi lebih komprehensif bagi teori pembelajaran matematika modern.

Para peneliti perlu merancang fitur-fitur yang memungkinkan siswa memperoleh kompetensi dasar terkait disiplin ilmu STEM, dan aplikasi di masa mendatang perlu mencakup perancah metakognitif dan dukungan eksperimental untuk aktivitas pembelajaran berbasis inkuiri [23]. Dengan demikian, meskipun AR telah terbukti

potensial sebagai inovasi pembelajaran, keberhasilannya di masa depan akan sangat ditentukan oleh kolaborasi antara pengembang teknologi, pendidik, dan peneliti pendidikan. Sinergi ini diperlukan agar AR tidak hanya menjadi tren sesaat, tetapi benar-benar menjadi bagian integral dari ekosistem pembelajaran digital yang berkelanjutan dan bermakna.

4. Kesimpulan

Secara keseluruhan, literatur menunjukkan bahwa *Augmented Reality* memberikan kontribusi signifikan terhadap peningkatan kemampuan spasial, pemahaman konsep geometri, serta motivasi belajar siswa. Integrasi AR melalui aplikasi seperti GeoGebra AR atau *3D escape room learning* mampu menjembatani kesenjangan antara visualisasi abstrak dan pengalaman nyata.

Namun, penerapan AR harus disertai dengan perencanaan pedagogis yang matang, pelatihan guru, dan dukungan infrastruktur yang memadai. Arah penelitian selanjutnya disarankan untuk mengembangkan model pembelajaran AR adaptif, mengeksplorasi dampak jangka panjang terhadap berpikir geometri tingkat tinggi, dan melakukan meta-analisis kuantitatif untuk mengukur efektivitas lintas konteks pendidikan.

Referensi

- [1] I. Radu, "Augmented reality in education: A meta-review and cross-media analysis," *Pers. Ubiquitous Comput.*, vol. 18, no. 6, pp. 1533–1543, Jan. 2014, doi: 10.1007/S00779-013-0747-Y/METRICS.
- [2] S. Gargrish, A. Mantri, and D. P. Kaur, "Augmented reality-based learning environment to enhance teaching-learning experience in geometry education," in *Procedia Computer Science*, Elsevier B.V., 2020, pp. 1039–1046. doi: 10.1016/j.procs.2020.05.152.
- [3] T. Koparan, H. Dinar, E. T. Koparan, and Z. S. Haldan, "Integrating augmented reality into mathematics teaching and learning and examining its effectiveness," *Think. Ski. Creat.*, vol. 47, Mar. 2023, doi: 10.1016/j.tsc.2023.101245.
- [4] Lainufar, M. Mailizar, and R. Johar, "Exploring the potential use of GeoGebra augmented reality in a project-based learning environment: The case of geometry," in *Journal of Physics: Conference Series*, IOP Publishing Ltd, May 2021. doi: 10.1088/1742-6596/1882/1/012045.
- [5] F. Arwadi, A. Asmaun, and R. Ruslan, "Analisis Kesalahan Mahasiswa dalam Menyelesaikan Soal Analitik Ditinjau Dari Prestasi Belajar," *JRIP J. Ris. dan Inov. Pembelajaran*, vol. 4, no. 3, p. 1819, 2024, doi: 10.51574/jrip.v4i3.2206.
- [6] A. Asmaun, F. Arwadi, and M. Rifandi, "Deskripsi Kesalahan Mahasiswa dalam Menyelesaikan Soal Geometri Analitik Menurut Teori Newman Ditinjau dari Kemampuan Matematika," *Prox. J. Penelit. Mat. dan Pendidik. Mat.*, vol. 8, no. 2, pp. 548–560, 2025, doi: 10.30605/proximal.v8i2.5467.
- [7] A. Asmaun, "Analisis Tingkat Berpikir Geometri Mahasiswa dalam Pemecahan Masalah Berdasarkan Teori Van Hiele pada Mata Kuliah Geometri Dasar," *Venn J. Sustain. Innov. Educ. Math. Nat. Sci.*, vol. 4, no. 3, pp. 378–396, Sep. 2025, doi: 10.53696/VENN.V4I3.353.

- [8] M. Zapata, C. Ramos-Galarza, K. Valencia-Aragón, and L. Guachi, "Enhancing mathematics learning with 3D augmented reality escape room," *Int. J. Educ. Res. Open*, vol. 7, Dec. 2024, doi: 10.1016/j.ijedro.2024.100389.
- [9] T. H. Kramarenko, O. S. Pylypenko, and M. V. Moiseienko, "Enhancing mathematics education with GeoGebra and augmented reality," in *CEUR Workshop Proceedings*, 2024, pp. 117–126. [Online]. Available: <https://kdpu.edu.ua/personal/tkramarenko.html>
- [10] Y. An, "History of Instructional Instructional Design , and Theories Media , To cite this article : of A History of Instructional Media , Instructional Design , and Theories," *Int. J. Technol. Educ.*, vol. 4, no. 1, pp. 1–21, 2019.
- [11] A. Theodoropoulos and G. Lepouras, "Augmented Reality and programming education: A systematic review," *International Journal of Child-Computer Interaction*, vol. 30. Elsevier B.V., Dec. 2021. doi: 10.1016/j.ijcci.2021.100335.
- [12] W.-H. Chao and R.-C. Chang, "Using Augmented Reality to Enhance and Engage Students in Learning Mathematics," *Adv. Soc. Sci. Res. J.*, vol. 5, no. 12, Dec. 2018, doi: 10.14738/ASSRJ.512.5900.
- [13] Z. Shaghaghian, H. Burte, D. Song, and W. Yan, "An Augmented Reality Application and User Study for Understanding and Learning Spatial Transformation Matrices," *arXiv Prepr. arXiv2212.00110*, 2022.
- [14] H. C. Gomez-Tone, J. Martin-Gutierrez, and B. K. Valencia-Anci, "Augmented and immersive virtual reality to train spatial skills in STEAM university students," in *Innovations in Artificial Intelligence and Human-Computer Interaction in the Digital Era*, Elsevier, 2023, pp. 7–30. doi: 10.1016/B978-0-323-99891-8.00002-4.
- [15] H. Pujiastuti and R. Haryadi, "The Effectiveness of Using Augmented Reality on the Geometry Thinking Ability of Junior High School Students," in *Procedia Computer Science*, Elsevier B.V., 2024, pp. 1738–1745. doi: 10.1016/j.procs.2024.03.180.
- [16] M. F. V. Ruslau, O. Dadi, and Nurlianti, "The impact of GeoGebra AR on students' geometric thinking based on Van Hiele theory," *J. Honai Math*, vol. 8, no. 1, pp. 115–128, Apr. 2025, doi: 10.30862/JHM.V8I1.871.
- [17] N. Nurhami, N. Muharram, and W. Susanti, "Peningkatan Kemampuan Numerasi Siswa SMA Negeri 9 Luwu melalui Pembelajaran Etno-Matematika Berbasis Augmented Reality," *J. Dieksis ID*, vol. 4, pp. 128–140, Dec. 2024, doi: 10.54065/dieksis.4.2.2024.521.
- [18] P. Aditya, R. Ilma Indra Putri, E. Susanti, and N. Aisyah, "Augmented Reality (AR) pada Geogebra 3D untuk Menghasilkan Hypothetical Learning Trajectory Dalam Pembelajaran STEM Materi Jarak Dimensi Tiga Kelas XII SMA," *J. Pendidik. Mat. RAFA*, vol. 8, no. 1, pp. 40–58, 2022, doi: 10.19109/jpmrafa.v8i1.8519.
- [19] M. Akçayır and G. Akçayır, "Advantages and challenges associated with augmented reality for education: A systematic review of the literature," *Educ. Res. Rev.*, vol. 20, pp. 1–11, Feb. 2017, doi: 10.1016/j.edurev.2016.11.002.
- [20] S. A. Yoon and J. Wang, "Making the Invisible Visible in Science Museums

- Through Augmented Reality Devices," *TechTrends* 2013 581, vol. 58, no. 1, pp. 49–55, Dec. 2013, doi: 10.1007/S11528-013-0720-7.
- [21] M. U. Gusteti *et al.*, "Penggunaan Augmented Reality dalam Pembelajaran Matematika: Sebuah Analisis Berdasarkan Studi Literatur," *Edukatif J. Ilmu Pendidik.*, vol. 5, no. 6, pp. 2735–2747, 2023, doi: 10.31004/edukatif.v5i6.5963.
 - [22] H. K. Wu, S. W. Y. Lee, H. Y. Chang, and J. C. Liang, "Current status, opportunities and challenges of augmented reality in education," *Comput. Educ.*, vol. 62, pp. 41–49, Mar. 2013, doi: 10.1016/J.COMPEDU.2012.10.024.
 - [23] M. B. Ibáñez and C. Delgado-Kloos, "Augmented reality for STEM learning: A systematic review," *Comput. Educ.*, vol. 123, pp. 109–123, Aug. 2018, doi: 10.1016/j.compedu.2018.05.002.