

Pengembangan Media Pembelajaran Berbasis *Augmented Reality* (AR) *Mobile* Berbantuan Marker Materi Transformasi Geometri Kelas

Siti Nurwahida¹, Sofnidar², dan Khairul Anwar³

^{1,2}Program Studi Pendidikan Matematika, Universitas Jambi

Surel: sitinurwahida02@gmail.com

Abstract

This study aims to develop Augmented Reality (AR)-based learning media for 9th-grade geometry transformation material and to determine its validity and practicality. This is a research and development (R&D) study using the ADDIE model, which consists of the analysis, design, development, implementation, and evaluation stages. The research subjects included one content expert, one media expert, one mathematics teacher, and nine ninth-grade students at SMP Negeri 24 in Jambi City. The research instruments consisted of a content expert validation sheet, a media expert validation sheet, and practicality questionnaires for teachers and students. The data were analyzed using quantitative descriptive analysis techniques by calculating the percentage of validity and practicality scores. The results showed that the media achieved a validity percentage of 92% from the subject matter expert and 94.44% from the media expert, both categorized as highly valid. The practicality test results yielded a percentage of 88.20% from the teacher and 86.67% from the students in the small-group test, categorized as highly practical. Based on these results, the Augmented Reality (AR)-based learning media for 9th-grade geometric transformations is deemed highly valid and highly practical for use on a limited scale.

Keyword: Augmented Reality, Educational Media, Geometric Transformations, the ADDIE Model

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan media pembelajaran berbasis *Augmented Reality* (AR) pada materi transformasi geometri kelas IX serta mengetahui tingkat validitas dan kepraktisannya. Penelitian ini merupakan penelitian pengembangan (*Research and Development*) menggunakan model ADDIE yang terdiri atas tahap analysis, design, development, implementation, dan evaluation. Subjek penelitian meliputi satu ahli materi, satu ahli media, satu guru matematika, dan sembilan murid kelas IX SMP Negeri 24 Kota Jambi. Instrumen penelitian berupa lembar validasi ahli materi, lembar validasi ahli media, dan angket praktikalitas guru serta murid. Data dianalisis menggunakan teknik analisis deskriptif kuantitatif dengan menghitung persentase skor validitas dan praktikalitas. Hasil penelitian menunjukkan bahwa media memperoleh persentase validitas sebesar 92% dari ahli materi dan 94,44% dari ahli media dengan kategori sangat valid. Hasil uji praktikalitas memperoleh persentase sebesar 88,20% dari guru dan 86,67% dari murid pada uji kelompok kecil dengan kategori sangat praktis. Berdasarkan hasil tersebut, media pembelajaran berbasis *Augmented Reality* (AR) pada materi transformasi geometri kelas IX dinyatakan sangat valid dan sangat praktis untuk digunakan dalam skala terbatas.

Kata Kunci: *Augmented Reality*, Media Pembelajaran, Transformasi Geometri, Model ADDIE

PENDAHULUAN

Pendidikan merupakan salah satu faktor penting dalam mempersiapkan sumber daya manusia yang mampu menghadapi perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi. Dalam konteks pendidikan matematika, pembelajaran tidak hanya berorientasi pada penguasaan rumus dan prosedur, tetapi juga pada kemampuan peserta didik memahami konsep secara mendalam serta menghubungkannya dengan berbagai situasi kehidupan nyata (Vhalery et al., 2022). Kemampuan tersebut menjadi penting karena matematika berperan dalam mengembangkan kemampuan berpikir kritis, logis, dan pemecahan masalah yang dibutuhkan dalam kehidupan sehari-hari maupun dunia kerja (Nurhikmah et al., 2024; Ibrahim et al., 2022)

Sejalan dengan implementasi pendekatan deep learning, proses pembelajaran perlu dirancang agar menciptakan suasana belajar yang sadar (*mindful*), bermakna (*meaningful*), dan menyenangkan (*joyful*). Pembelajaran yang bermakna memungkinkan peserta didik mengaitkan pengetahuan baru dengan pengalaman dan pengetahuan yang telah dimiliki sebelumnya sehingga terbentuk pemahaman konseptual yang lebih mendalam (Mu'ti, 2025; Hamida et al., 2022; Morris, 2025). Selain itu, pembelajaran bermakna juga mendorong peserta didik untuk berpartisipasi aktif dalam proses belajar melalui kegiatan eksplorasi, refleksi, dan pemecahan masalah yang relevan dengan kehidupan nyata (Bhardwaj et al., 2025; Kostiainen & Pöysä-Tarhonen, 2025)

Meskipun demikian, pembelajaran matematika masih menghadapi berbagai tantangan,

terutama pada materi yang bersifat abstrak dan membutuhkan kemampuan visualisasi yang tinggi. Peserta didik sering mengalami kesulitan dalam memahami konsep karena pembelajaran masih berpusat pada guru dan lebih menekankan penyampaian rumus dibandingkan pemberian pengalaman belajar yang konkret (Feng et al., 2025; Ncube & Luneta, 2025). Kondisi tersebut menyebabkan peserta didik kurang mampu menghubungkan konsep matematika dengan konteks kehidupan nyata sehingga pembelajaran menjadi kurang bermakna.

Berdasarkan hasil observasi dan wawancara yang dilakukan di SMP Negeri 24 Kota Jambi, ditemukan bahwa proses pembelajaran matematika masih didominasi oleh metode ceramah dengan pemanfaatan media pembelajaran yang terbatas pada proyektor dan lembar kerja peserta didik. Guru juga menyampaikan bahwa rendahnya keterlibatan peserta didik dalam pembelajaran menjadi salah satu permasalahan utama. Peserta didik cenderung pasif, kurang antusias dalam mengikuti pembelajaran, serta mengalami kesulitan dalam memahami materi yang membutuhkan visualisasi, khususnya pada materi transformasi geometri. Selain itu, peserta didik mengaku lebih mudah memahami materi ketika terlibat secara langsung dalam aktivitas yang bersifat konkret dan interaktif. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa pembelajaran yang berlangsung belum sepenuhnya memberikan pengalaman belajar yang bermakna.

Perkembangan teknologi memberikan peluang untuk menghadirkan media pembelajaran yang lebih interaktif melalui pemanfaatan *Augmented Reality* (AR). Teknologi AR memungkinkan objek virtual tiga dimensi ditampilkan secara langsung

pada lingkungan nyata sehingga peserta didik dapat berinteraksi dengan representasi visual suatu konsep. Berbagai penelitian menunjukkan bahwa penggunaan AR mampu meningkatkan keterlibatan, motivasi, dan pemahaman peserta didik dalam pembelajaran matematika (Asyaroh et al., 2021; Triswidrananta et al., 2024; Shandy, 2024). Selain itu, AR juga dinilai mampu menghadirkan pengalaman belajar yang lebih imersif, interaktif, dan kontekstual dibandingkan media visual konvensional (Mustaqim, 2016; Amanatidis, 2022; Udeozor et al., 2023). Penelitian Yang et al. (2022) dan Angraini et al., (2023) juga menunjukkan bahwa AR berpotensi menjadi media pembelajaran matematika yang efektif dalam membantu visualisasi konsep-konsep abstrak. Akan tetapi, implementasi AR dalam mendukung pembelajaran bermakna pada materi transformasi geometri masih belum banyak dikaji.

Berdasarkan berbagai penelitian tersebut, dapat diketahui bahwa teknologi AR memiliki potensi untuk meningkatkan visualisasi dan interaktivitas pembelajaran matematika. Meskipun demikian, pengembangan media pembelajaran berbasis AR pada materi transformasi geometri masih perlu dilakukan untuk membantu peserta didik memahami konsep-konsep yang bersifat abstrak melalui visualisasi yang lebih konkret. Oleh karena itu, diperlukan suatu inovasi media pembelajaran berbasis AR yang mampu mendukung proses pembelajaran matematika secara lebih menarik, interaktif, dan efektif.

Materi transformasi geometri merupakan salah satu materi matematika yang menuntut kemampuan spasial-visual yang tinggi. Pada materi ini, peserta didik tidak hanya dituntut memahami konsep secara simbolik,

tetapi juga harus mampu membayangkan perubahan posisi, bentuk, ukuran, maupun orientasi suatu objek pada bidang koordinat melalui proses translasi, refleksi, rotasi, dan dilatasi. Kemampuan tersebut sering kali menjadi kendala karena peserta didik harus melakukan representasi mental terhadap perpindahan titik atau bangun geometri yang tidak selalu mudah diamati secara langsung. Akibatnya, pembelajaran yang hanya mengandalkan penjelasan verbal, gambar statis pada buku, maupun ilustrasi dua dimensi di papan tulis sering belum mampu membantu peserta didik membangun pemahaman spasial yang optimal. Kondisi ini menyebabkan konsep transformasi geometri cenderung dianggap abstrak dan sulit dipahami oleh sebagian peserta didik karena menuntut kemampuan visualisasi dan penalaran spasial yang tinggi dalam memahami perubahan posisi suatu objek pada bidang koordinat (Latri et al., 2021; Yang et al., 2022)

Perkembangan teknologi *Augmented Reality* (AR) memberikan peluang untuk mengatasi permasalahan tersebut. AR memungkinkan objek virtual dua dimensi maupun tiga dimensi ditampilkan secara real-time pada lingkungan nyata sehingga peserta didik dapat mengamati, memanipulasi, dan berinteraksi langsung dengan representasi visual suatu konsep matematika. Karakteristik AR yang mampu menggabungkan dunia nyata dan dunia virtual, bersifat interaktif secara langsung, serta menyajikan visualisasi tiga dimensi menjadikan teknologi ini berpotensi mendukung pengembangan kemampuan spasial peserta didik dalam mempelajari transformasi geometri.

Selain itu, visualisasi berbasis AR dapat membantu mengurangi beban kognitif peserta didik ketika memahami

konsep-konsep abstrak karena objek yang dipelajari dapat diamati secara lebih konkret dan dinamis (Mustaqim, 2016; Angraini et al., 2023). Penelitian lain juga menunjukkan bahwa pemanfaatan AR dalam pembelajaran mampu meningkatkan pemahaman konsep, kemampuan visualisasi spasial, serta keterlibatan peserta didik dalam proses belajar (Delgado-kloos, 2018; Amanatidis, 2022; Yang et al., 2022; Angraini et al., 2023). Selain itu, AR dinilai mampu menghadirkan pengalaman belajar yang lebih imersif dan interaktif dibandingkan media visual konvensional sehingga dapat membantu peserta didik memahami konsep matematika yang bersifat abstrak (Mustaqim, 2016; Li et al., 2022)

Meskipun berbagai penelitian telah melaporkan manfaat penggunaan AR dalam pembelajaran, sebagian besar penelitian masih berfokus pada efektivitas media terhadap hasil belajar dan motivasi peserta didik. Penelitian Asyaroh et al. (2021), Shandy, (2024) dan Triswidrananta et al. (2024) menunjukkan bahwa media berbasis AR mampu meningkatkan motivasi, keterlibatan, dan pemahaman peserta didik dalam pembelajaran matematika. Penelitian Yang et al. (2022) juga menunjukkan bahwa teknologi AR berpotensi digunakan sebagai media pembelajaran matematika yang inovatif. Namun, penelitian-penelitian tersebut masih lebih menekankan aspek penggunaan dan efektivitas teknologi AR secara umum dibandingkan pengembangan media yang secara spesifik dirancang sesuai karakteristik materi transformasi geometri. Namun, media yang dikembangkan pada penelitian tersebut belum secara khusus dirancang untuk membantu peserta didik memahami konsep transformasi geometri

melalui visualisasi objek tiga dimensi yang interaktif sesuai karakteristik materi. Selain itu, penelitian mengenai pengembangan media AR yang mendukung pembelajaran bermakna pada materi transformasi geometri di tingkat SMP masih relatif terbatas. Oleh karena itu, masih terdapat celah penelitian dalam pengembangan media pembelajaran berbasis AR yang secara khusus dirancang untuk memfasilitasi pemahaman konsep transformasi geometri melalui visualisasi yang lebih konkret, interaktif, dan sesuai dengan kebutuhan peserta didik.

Kebaruan penelitian ini terletak pada pengembangan media pembelajaran berbasis *Augmented Reality* (AR) pada materi transformasi geometri kelas IX yang dirancang untuk memvisualisasikan proses translasi, refleksi, rotasi, dan dilatasi melalui objek tiga dimensi yang interaktif. Berbeda dengan penelitian sebelumnya yang lebih menekankan penggunaan AR sebagai media visualisasi umum atau pengukuran efektivitas media terhadap hasil belajar, penelitian ini berfokus pada pengembangan media yang disesuaikan dengan karakteristik materi transformasi geometri serta kebutuhan peserta didik SMP sehingga dapat membantu membangun kemampuan visualisasi spasial dan pemahaman konsep secara lebih konkret. Selain itu, media yang dikembangkan dirancang sebagai alternatif pembelajaran matematika yang mendukung pembelajaran bermakna melalui pengalaman belajar yang lebih interaktif dan kontekstual.

Berdasarkan uraian tersebut, penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan media pembelajaran berbasis *Augmented Reality* (AR) pada materi transformasi geometri kelas IX serta mengetahui kualitas produk yang

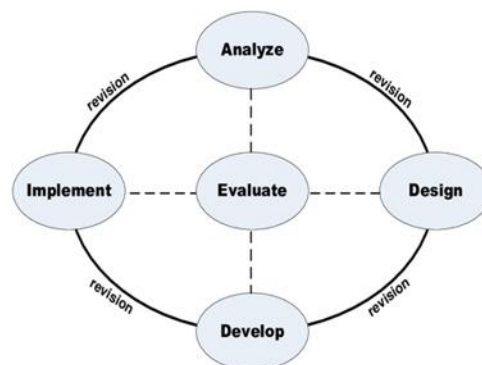
dikembangkan berdasarkan aspek validitas, kepraktisan, dan keefektifannya.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini merupakan penelitian pengembangan (*Research and Development / R&D*). Metode penelitian dan pengembangan digunakan untuk menghasilkan suatu produk sekaligus menguji kualitas produk yang dikembangkan (Sugiyono, 2013). Produk yang dihasilkan berupa media pembelajaran berbasis *Augmented Reality* (AR) pada materi transformasi geometri kelas IX. Model pengembangan yang digunakan adalah ADDIE yang terdiri atas lima tahap, yaitu Analysis,

Design, Development, Implementation, dan Evaluation (Slamet, 2022). Model ADDIE dipilih karena memiliki tahapan yang sistematis, terstruktur, serta memungkinkan dilakukannya evaluasi dan revisi pada setiap tahap pengembangan sehingga produk yang dihasilkan dapat disempurnakan secara berkelanjutan (Winaryati et al., 2021).

Artikel ini memfokuskan pelaporan hasil penelitian pada aspek validitas dan kepraktisan media. Oleh karena itu, data yang disajikan berasal dari hasil validasi ahli serta uji coba kelompok kecil yang dilakukan untuk memperoleh informasi mengenai kelayakan dan kepraktisan penggunaan media pembelajaran berbasis *Augmented Reality* (AR).



Gambar 1. Tahapan Model Pengembangan ADDIE

Tahap *analysis* dilakukan untuk mengidentifikasi kebutuhan pengembangan media melalui analisis kurikulum, analisis kebutuhan murid, analisis karakteristik murid, analisis sumber daya yang tersedia, dan analisis materi. Hasil analisis menunjukkan bahwa materi transformasi geometri masih menjadi materi yang sulit dipahami oleh murid karena membutuhkan kemampuan visualisasi yang baik. Selain itu, media pembelajaran yang digunakan masih terbatas sehingga diperlukan media yang

lebih interaktif untuk membantu proses pembelajaran.

Tahap *design* dilakukan dengan menyusun rancangan media yang meliputi penyusunan *flowchart*, *storyboard*, desain antarmuka, materi pembelajaran, marker AR, LKPD, serta instrumen penelitian. Rancangan tersebut digunakan sebagai pedoman dalam proses pengembangan produk.

Tahap *development* merupakan proses pembuatan media pembelajaran berbasis *Augmented Reality* sesuai dengan rancangan yang telah disusun.

Produk yang dihasilkan kemudian divalidasi oleh ahli materi dan ahli media untuk memperoleh masukan terkait kelayakan isi, tampilan, bahasa, dan aspek teknis media. Hasil validasi digunakan sebagai dasar dalam melakukan revisi produk.

Tahap implementation dilakukan melalui uji coba kelompok kecil yang melibatkan sembilan murid kelas IX SMP Negeri 24 Kota Jambi. Uji coba ini bertujuan untuk memperoleh data kepraktisan penggunaan media pembelajaran berbasis *Augmented Reality* (AR) serta mengetahui tanggapan murid terhadap media yang dikembangkan.

Tahap evaluation dilakukan pada setiap tahapan pengembangan sebagai bentuk evaluasi formatif. Evaluasi bertujuan untuk mengidentifikasi kekurangan produk dan melakukan penyempurnaan berdasarkan hasil validasi ahli, hasil uji coba kelompok kecil, serta masukan dari guru dan murid sehingga media yang dikembangkan memiliki tingkat validitas dan kepraktisan yang baik.

Subjek penelitian meliputi satu ahli materi, satu ahli media, satu guru matematika kelas IX SMP Negeri 24 Kota Jambi, serta sembilan murid kelas IX yang terlibat dalam uji coba kelompok kecil. Adapun subjek penelitian meliputi satu ahli materi, satu ahli media, satu guru matematika kelas IX SMP Negeri 24 Kota Jambi, serta murid kelas IX yang terlibat dalam kegiatan uji coba produk.

Media yang dikembangkan dalam penelitian ini adalah media pembelajaran berbasis *Augmented Reality* pada materi transformasi geometri. Pengembangan media dilakukan menggunakan aplikasi *Assemblr EDU* dan dioperasikan melalui perangkat *smartphone Android*. Bahan

yang digunakan meliputi materi transformasi geometri, marker AR, LKPD, serta perangkat pendukung pembelajaran lainnya.

Instrumen penelitian yang digunakan terdiri atas lembar validasi ahli materi, lembar validasi ahli media, lembar praktikalitas guru, dan lembar praktikalitas murid. Lembar validasi digunakan untuk menilai kelayakan produk yang dikembangkan, sedangkan lembar praktikalitas digunakan untuk menilai kemudahan penggunaan produk dalam pembelajaran (Saputri et al., 2023; Cahaya et al., 2024).

Teknik pengumpulan data yang digunakan dalam penelitian ini meliputi observasi, wawancara, dokumentasi, angket, dan tes. Observasi dan wawancara dilakukan pada tahap analisis kebutuhan untuk memperoleh informasi mengenai kondisi pembelajaran dan kebutuhan media. Dokumentasi digunakan untuk mendukung data penelitian. Angket digunakan untuk memperoleh data validitas, kepraktisan, dan respons murid terhadap media yang dikembangkan.

Data yang diperoleh dalam penelitian ini berupa data kualitatif dan data kuantitatif. Data kualitatif berupa saran dan masukan dari validator digunakan sebagai dasar revisi produk, sedangkan data kuantitatif dianalisis menggunakan teknik analisis deskriptif persentase untuk menentukan tingkat validitas dan kepraktisan media (Arikunto, 2010). Data kualitatif diperoleh dari saran dan masukan validator, sedangkan data kuantitatif diperoleh dari skor validasi dan angket praktikalitas. Seluruh data dianalisis untuk mengetahui tingkat validitas dan kepraktisan media pembelajaran berbasis *Augmented Reality* yang dikembangkan.

Analisis validitas dilakukan menggunakan teknik analisis deskriptif

dengan skala Likert. Persentase validitas dihitung menggunakan rumus:

$$V_s = \frac{\text{Jumlah skor per indikator}}{\text{Jumlah skor maksimal per indikator}} \times 100\%$$

Persentase skor validitas yang diperoleh selanjutnya diinterpretasikan

berdasarkan kriteria validitas produk sebagaimana disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Tabel Klasifikasi Presentase Validitas Produk

Tingkat Validitas	Kriteria Validitas
85,01% – 100,00%	Sangat valid, dapat digunakan tanpa revisi
70,01% – 85,00%	Cukup Valid, dapat digunakan dengan revisi kecil
50,01% – 70,00%	Kurang valid, disarankan tidak digunakan karena perlu revisi besar
01,00% – 50,00%	Tidak valid, tidak boleh digunakan

Sumber: Saputri et al., (2023)

Berdasarkan Tabel 1 di atas, klasifikasi tingkat validitas produk dibagi menjadi empat kategori utama yang menentukan kelayakan penggunaannya. Produk dikategorikan Sangat valid dan dapat langsung digunakan tanpa revisi jika memperoleh persentase antara 85,01% hingga 100,00%, sementara persentase 70,01% sampai 85,00% masuk dalam kriteria Cukup Valid yang berarti produk dapat digunakan namun memerlukan sedikit perbaikan minor. Sebaliknya, jika persentase berada di

angka 50,01% hingga 70,00%, produk dinilai Kurang valid dan disarankan untuk tidak digunakan karena membutuhkan revisi besar. Terakhir, produk dengan persentase di bawah atau sama dengan 50,00% dinyatakan Tidak valid sehingga sama sekali tidak boleh digunakan dalam penelitian atau pengembangan lebih lanjut.

Analisis kepraktisan diperoleh dari angket praktikalitas guru dan murid. Persentase kepraktisan dihitung menggunakan rumus:

$$\text{Tingkat Praktis (P)} = \frac{\text{Skor seluruh siswa}}{\text{Skor maksimum}} \times 100\%$$

Rumus di atas digunakan untuk mengukur persentase kepraktisan suatu produk berdasarkan respon atau penilaian yang diberikan oleh pengguna, dalam hal ini adalah siswa. Tingkat kepraktisan (P) diperoleh dengan membandingkan total skor riil yang dikumpulkan dari seluruh siswa dengan skor maksimum ideal yang

mungkin dicapai, kemudian hasilnya dikalikan dengan 100%. Persentase akhir yang didapatkan dari perhitungan ini nantinya akan dikonversikan ke dalam kriteria standar kepraktisan untuk menentukan apakah produk yang dikembangkan sudah memenuhi syarat praktis atau masih memerlukan perbaikan.

Persentase skor kepraktisan yang diperoleh selanjutnya diinterpretasikan

berdasarkan kriteria kepraktisan produk sebagaimana disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Tabel Klasifikasi Presentase Kepraktisan Produk

Tingkat Kepraktisan	Kriteria Kepraktisan
85,01% – 100,00%	Sangat praktis, dapat digunakan tanpa revisi
70,01% – 85,00%	Cukup praktis, dapat digunakan dengan revisi kecil
50,01% – 70,00%	Kurang praktis, disarankan tidak digunakan karena perlu revisi besar
01,00% – 50,00%	Tidak praktis, tidak boleh digunakan

Sumber: Cahaya et al., (2024)

Berdasarkan Tabel 2 di atas, klasifikasi persentase kepraktisan produk dibagi menjadi empat tingkat kriteria yang menentukan kualitas kemudahan penggunaan produk. Produk dikategorikan Sangat praktis dan siap digunakan tanpa adanya revisi apabila memperoleh persentase skor antara 85,01% hingga 100,00%, sedangkan persentase pada rentang 70,01% sampai 85,00% menunjukkan bahwa produk berada pada kriteria Cukup praktis yang berarti dapat digunakan dengan sedikit perbaikan minor. Sebaliknya, hasil persentase antara 50,01% hingga 70,00% menandakan produk Kurang praktis sehingga disarankan untuk tidak digunakan terlebih dahulu karena memerlukan revisi dalam skala besar. Terakhir, jika persentase yang diperoleh berada di bawah atau sama dengan 50,00%, maka produk dinilai Tidak praktis dan dilarang keras untuk digunakan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil

Penelitian ini merupakan penelitian pengembangan (*Research and Development*) yang menghasilkan media pembelajaran berbasis *Augmented Reality* (AR) pada materi transformasi geometri kelas IX. Pengembangan media

dilakukan menggunakan model ADDIE yang terdiri atas lima tahapan, yaitu *analysis*, *design*, *development*, *implementation*, dan *evaluation*.

Pada tahap *analysis* dilakukan analisis kurikulum, analisis kebutuhan murid, analisis karakteristik murid, analisis sumber daya yang tersedia, dan analisis materi. Hasil analisis menunjukkan bahwa SMP Negeri 24 Kota Jambi menggunakan Kurikulum Merdeka yang menuntut pembelajaran berpusat pada murid. Berdasarkan hasil observasi dan wawancara dengan guru matematika, ditemukan bahwa pembelajaran masih didominasi metode ceramah dengan penggunaan media yang terbatas pada proyektor dan LKPD. Murid juga mengalami kesulitan memahami materi transformasi geometri karena konsep yang dipelajari bersifat abstrak dan membutuhkan kemampuan visualisasi yang baik. Selain itu, mayoritas murid telah memiliki perangkat *Android* yang dapat mendukung penggunaan media berbasis *Augmented Reality*.

Pada tahap *design*, peneliti merancang media pembelajaran yang akan dikembangkan berdasarkan hasil analisis kebutuhan. Kegiatan yang dilakukan meliputi penyusunan *flowchart* aplikasi, pembuatan *storyboard*, perancangan tampilan

antarmuka media, penyusunan materi transformasi geometri, serta penyusunan instrumen penelitian berupa lembar validasi ahli materi, lembar validasi ahli media, dan angket praktikalitas. Desain media dirancang agar mampu menyajikan materi translasi, refleksi, rotasi, dan dilatasi secara interaktif melalui teknologi *Augmented Reality*. Selain itu, media juga dilengkapi dengan menu petunjuk penggunaan, menu materi, fitur pemindaian (*scan*) marker AR, latihan soal, serta informasi pengembang. Hasil rancangan tersebut kemudian digunakan sebagai acuan dalam proses pengembangan produk.

Tahap *development* dilakukan dengan mengembangkan rancangan yang telah dibuat menjadi produk yang dapat digunakan pada perangkat Android. Pada tahap ini seluruh komponen media, seperti materi, objek tiga dimensi, marker AR, navigasi aplikasi, serta fitur evaluasi diintegrasikan ke dalam media pembelajaran. Produk yang dihasilkan memuat materi transformasi geometri

yang terdiri atas translasi, refleksi, rotasi, dan dilatasi yang disajikan melalui visualisasi objek tiga dimensi berbasis *Augmented Reality*. Setelah produk selesai dikembangkan, media divalidasi oleh ahli materi dan ahli media untuk mengetahui tingkat kelayakannya sebelum dilakukan uji coba kepada pengguna.

Hasil validasi materi menunjukkan bahwa media memperoleh skor 11 dari skor maksimum 12 dengan persentase sebesar 92% dan termasuk dalam kategori sangat valid. Penilaian tersebut mencakup kesesuaian materi dengan capaian pembelajaran, kebenaran konsep, dan sistematika penyajian materi.

Meskipun memperoleh kategori sangat valid, validator materi memberikan beberapa saran perbaikan untuk menyempurnakan kualitas isi media. Ringkasan hasil revisi berdasarkan masukan ahli materi disajikan pada Tabel 3.

Tabel 3. Revisi Produk Berdasarkan Masukan Ahli Materi

Saran Ahli Materi	Setelah Revisi
Penyajian materi transformasi geometri perlu dilengkapi dengan contoh yang lebih kontekstual agar memudahkan peserta didik memahami konsep yang dipelajari.	Menambahkan contoh penerapan transformasi geometri pada bidang koordinat beserta ilustrasi pendukung yang lebih representatif.
Penjelasan pada beberapa bagian materi masih terlalu panjang sehingga berpotensi menurunkan keterbacaan.	Menyederhanakan uraian materi dengan menggunakan kalimat yang lebih ringkas dan mudah dipahami oleh peserta didik.
Visualisasi konsep perlu dibuat lebih jelas agar perubahan posisi objek dapat diamati dengan lebih baik.	Memperbaiki ilustrasi serta menambahkan penanda posisi objek sebelum dan sesudah transformasi.
Menambahkan petunjuk permainan secara lebih jelas	Menambahkan petunjuk permainan agar lebih rinci dan jelas .

Berdasarkan data yang disajikan pada Tabel 3, proses revisi produk

dilakukan secara menyeluruh dengan menelaraskan materi pembelajaran sesuai dengan masukan ahli materi guna

mengoptimalkan kejelasan, keterbacaan, dan keterlibatan peserta didik. Perbaikan difokuskan pada penguatan konsep transformasi geometri melalui integrasi contoh kontekstual pada bidang koordinat, yang dilengkapi dengan penanda visual yang lebih jelas untuk menggambarkan posisi objek sebelum dan sesudah transformasi. Selain itu, uraian teks yang panjang disederhanakan

menjadi kalimat yang lebih ringkas demi meningkatkan keterbacaan, serta petunjuk permainan dipertajam agar lebih rinci. Secara kolektif, serangkaian perbaikan berulang ini secara langsung menjawab kebutuhan kognitif peserta didik, mengubah umpan balik ahli menjadi peningkatan struktural dan visual yang nyata demi mendongkrak kualitas instruksional produk akhir.

Tabel 3. Hasil Revisi Materi Berdasarkan Masukan Ahli Materi

Sebelum	Sesudah



Sementara itu, hasil uji validasi oleh ahli media menunjukkan capaian yang sangat positif dengan perolehan skor sebesar 34 dari skor maksimum 36. Nilai tersebut menghasilkan persentase kelayakan sebesar **94,44%**, yang menempatkan produk pengembangan ini berada pada kategori "sangat valid". Proses evaluasi pada tahap ini dilakukan secara komprehensif yang mencakup lima aspek utama penilaian, yaitu kualitas tampilan fisik media, tingkat keterbacaan teks, aspek interaktivitas, kemudahan penggunaan (*usability*), serta kualitas visual secara keseluruhan. Keberhasilan mencapai persentase yang tinggi ini mengindikasikan bahwa desain struktural, tata letak, dan fungsionalitas media pembelajaran yang dikembangkan telah memenuhi kriteria teknis kelayakan media modern.

Meskipun secara kuantitatif media ini telah dikategorikan sangat valid dan siap diimplementasikan, validator media tetap memberikan beberapa catatan kritis serta saran perbaikan yang bersifat konstruktif guna menyempurnakan kualitas isi dan penyajian media. Masukan-masukan tersebut berfokus pada penguatan aspek kontekstual materi, simplifikasi teks yang terlalu panjang untuk menjaga retensi pembaca, peningkatan kejelasan visual melalui penanda posisi objek, serta perincian instruksi permainan teknis. Sebagai bentuk akuntabilitas ilmiah dalam proses pengembangan produk, seluruh saran perbaikan tersebut telah ditindaklanjuti secara saksama, dan ringkasan komparatif mengenai poin-poin revisi berdasarkan masukan ahli media tersebut disajikan secara rinci pada Tabel 3.

Tabel 3. Revisi Produk Berdasarkan Masukan Ahli Media

Saran Ahli Media	Setelah Revisi
Tampilan antarmuka pada beberapa halaman masih kurang menarik dan perlu disesuaikan agar lebih nyaman digunakan.	Melakukan penyesuaian tata letak dan desain antarmuka sehingga tampilan media menjadi lebih menarik dan mudah digunakan.
Ukuran teks pada beberapa menu masih relatif kecil ketika ditampilkan pada perangkat smartphone.	Memperbesar ukuran huruf pada bagian menu dan materi untuk meningkatkan keterbacaan

Kombinasi warna pada beberapa halaman perlu diperbaiki untuk meningkatkan kejelasan tampilan.	Menyesuaikan kombinasi warna latar belakang dan teks agar tampilan lebih kontras dan nyaman dilihat.
Sesuaikan karakter penyampaian materi dan latar	Mengganti karakter agar lebih sesuai dengan pembelajaran dan mengubah latar
Rapikan susunan dalam menyampaikan materi	Merapikan susunan materi agar lebih mudah di mengerti dan dilihat

Berdasarkan rincian perbaikan yang disajikan pada Tabel 3, proses revisi produk secara keseluruhan berfokus pada optimalisasi aspek estetika, ergonomi, dan fungsionalitas media agar lebih adaptif saat digunakan oleh peserta didik. Langkah perbaikan yang diambil meliputi penataan ulang tata letak antarmuka agar lebih menarik, peningkatan ukuran huruf demi menjamin keterbacaan pada perangkat *smartphone*, serta penyesuaian kontras kombinasi warna antara teks dan latar

belakang guna mengurangi kelelahan mata. Selain itu, karakter penyampaian materi dan struktur susunannya juga dirapikan agar alur pembelajaran menjadi lebih intuitif dan mudah dipahami. Melalui serangkaian perbaikan teknis tersebut, kualitas visual dan kenyamanan operasional media ini berhasil ditingkatkan, di mana transformasi konkret berupa perbandingan visual sebelum dan sesudah proses revisi tersebut dipaparkan lebih lanjut secara komparatif pada Tabel 4.

Tabel 3. Hasil Revisi Materi Berdasarkan Masukan Ahli Materi

Sebelum	Sesudah
	
	



Berdasarkan masukan komprehensif yang diberikan oleh ahli materi dan ahli media, serangkaian penyempurnaan strategis telah dilakukan terhadap substansi isi maupun desain antarmuka media pembelajaran. Proses rekonstruksi ini difokuskan pada peningkatan kualitas produk secara multidimensional, yang mencakup penguatan akurasi isi, optimalisasi tingkat keterbacaan teks pada perangkat digital, kejelasan visualisasi konsep, serta peningkatan aspek kemudahan

penggunaan (*usability*). Setelah seluruh tahapan revisi selesai diintegrasikan, media pembelajaran ditinjau kembali secara internal dan dinyatakan telah memenuhi seluruh standar kelayakan teknis serta konseptual, sehingga siap untuk diimplementasikan pada tahap uji coba pengguna (*user trial*).

Tahap implementasi (*implementation*) diawali melalui uji coba perorangan (*individual trial*) yang melibatkan guru mitra, yaitu guru mata pelajaran matematika kelas IX di SMP Negeri 24 Kota Jambi. Evaluasi ini

bertujuan utama untuk mengukur tingkat kepraktisan media dari sudut pandang praktisi pendidikan yang akan mengoperasikannya di dalam kelas. Berdasarkan analisis data yang dihimpun melalui instrumen angket praktikalitas guru, diperoleh skor dengan persentase capaian sebesar 88,20%. Hasil tersebut menempatkan media pembelajaran ini berada pada kategori "sangat praktis", yang mengindikasikan bahwa struktur navigasi, kesesuaian kurikulum, dan efisiensi waktu penggunaan media telah mendukung beban kerja instruksional guru secara optimal.

Aktivitas implementasi kemudian dilanjutkan dengan uji coba kelompok kecil (*small group trial*) yang melibatkan sembilan orang peserta didik kelas IX di sekolah yang sama. Pengukuran ini dilakukan untuk melihat efektivitas interaksi end-user terhadap fungsi-fungsi media. Hasil analisis angket praktikalitas dari sudut pandang peserta didik menunjukkan persentase yang konsisten, yaitu sebesar 86,67% dengan kategori "sangat praktis". Peserta didik memberikan respons yang sangat positif selama proses pembelajaran karena media dinilai memiliki antarmuka yang menarik, mudah dioperasikan secara mandiri, serta secara signifikan mampu memvisualisasikan konsep transformasi geometri yang abstrak menjadi lebih konkret dan mudah dipahami.

Secara simultan, tahap evaluasi (*evaluation*) diterapkan secara formatif pada setiap siklus pengembangan melalui perbaikan berkelanjutan berdasarkan umpan balik validator serta dinamika temuan di lapangan selama uji coba. Melalui integrasi seluruh data validasi dan praktikalitas yang diperoleh, dapat disimpulkan secara empiris bahwa media pembelajaran berbasis *Augmented*

Reality (AR) pada materi transformasi geometri kelas IX ini telah memenuhi kriteria "sangat valid" dan "sangat praktis". Dengan demikian, produk inovasi digital ini dinyatakan sah dan layak digunakan sebagai media instruksional formal untuk meningkatkan kualitas pembelajaran matematika di sekolah dasar maupun menengah.

Pembahasan

Hasil pengembangan media pembelajaran berbasis *Augmented Reality* (AR) pada materi transformasi geometri menunjukkan bahwa efektivitas media tidak hanya ditentukan oleh kelayakan produk secara teknis. Lebih dari sekadar pemenuhan instrumen validitas statis, keberhasilan media ini berakar pada kemampuannya dalam mempengaruhi dan mengoptimalkan proses kognitif siswa saat mengonstruksi konsep-konsep yang bersifat abstrak serta visual-spasial. Materi transformasi geometri yang mencakup translasi, rotasi, refleksi, dan dilatasi merupakan rumpun konsep matematis yang menuntut kemampuan representasi mental tinggi terhadap perubahan orientasi dan posisi objek dalam ruang koordinat. Akibatnya, materi ini kerap memicu kesulitan belajar (*learning obstacle*) yang persisten apabila hanya disajikan melalui media cetak atau papan tulis yang bersifat konvensional dan statis.

Kesulitan konseptual tersebut dapat dijelaskan secara teoretis melalui *Cognitive Load Theory* (Sweller et al., 2019), yang menegaskan bahwa proses perolehan pengetahuan menjadi kurang efektif ketika beban kognitif ekstrinsik (*extrinsic cognitive load*) siswa terlalu tinggi. Dalam arsitektur pembelajaran konvensional yang minim alat bantu manipulatif, siswa dipaksa secara

mandiri membayangkan pergerakan koordinat, perputaran sudut, maupun pencerminan objek pada bidang Kartesius tanpa adanya bantuan visual yang dinamis. Proses translasi mental yang berat ini menyebabkan kapasitas memori kerja (*working memory*) siswa habis terkuras hanya untuk aktivitas visualisasi dasar, alih-alih dialokasikan pada aktivitas penalaran matematis dan pemahaman esensi konsep transformasi itu sendiri.

Kehadiran teknologi AR dalam produk pembelajaran yang dikembangkan ini berhasil mendisrupsi keterbatasan tersebut dengan menyediakan visualisasi objek tiga dimensi yang dapat dimanipulasi secara langsung oleh siswa (*real-time manipulation*). Fitur interaktif yang disematkan seperti pergeseran objek (*translation*), perputaran seketika (*real-time rotation*), dan penskalaan ukuran (*dilation*) memungkinkan siswa mengamati dampak matematis dari setiap operasi geometri secara empiris tanpa harus membangun representasi mental yang rumit di dalam pikiran mereka. Melalui mekanisme ini, AR berfungsi sebagai alat pengalih (*scaffolding*) yang mereduksi beban kognitif ekstrinsik dan mengonversinya menjadi beban kognitif *germane* (Sweller et al., 2019), yaitu jenis beban kognitif produktif yang didedikasikan penuh untuk pembentukan skema konseptual yang kokoh dalam memori jangka panjang.

Dampak positif dari pergeseran beban kognitif ini sejalan dengan temuan penelitian dari Mustaqim (2016), yang menyatakan bahwa teknologi AR mampu meningkatkan kualitas pemahaman konsep secara signifikan karena memberikan pengalaman belajar yang jauh lebih konkret, kontekstual, dan interaktif. Penguatan teoretis ini juga

dipertegas oleh Amanatidis (2022) yang dalam kajiannya menyatakan bahwa implementasi AR dalam dunia pendidikan berfungsi sebagai jembatan yang sangat efektif untuk memangkas kesenjangan (*gap*) antara tingkat keabstrakan sebuah konsep matematis dengan representasi visual konkret yang dapat ditangkap oleh indra siswa, sehingga mempermudah akselerasi pemahaman.

Jika ditinjau dari perspektif *Dual Coding Theory* yang dikembangkan oleh Mayer (2002) efektivitas instruksional dari media ini juga diperkuat oleh adanya integrasi yang harmonis antara informasi verbal dan informasi visual yang disajikan secara simultan. Di dalam aplikasi GeoTransformAR, konsep transformasi tidak lagi dijabarkan secara terpisah lewat teks naratif atau instruksi rumus baku yang menjemukan, melainkan divisualisasikan secara sinkron melalui animasi objek tiga dimensi yang bergerak dinamis mengikuti jenis transformasi yang sedang dipelajari. Kombinasi multimedia ini memicu stimulasi ganda yang memungkinkan siswa membangun dua jalur representasi kognitif sekaligus (*auditory-verbal channel* dan *visual-pictorial channel*), yang pada gilirannya memperkuat proses penyandian (*encoding*) informasi ke dalam memori jangka panjang (*long-term memory*).

Hal ini diperkuat oleh hasil penelitian terdahulu yang dilakukan oleh Yang et al., (2022), yang menunjukkan bahwa integrasi visualisasi dalam pembelajaran matematika berbasis AR mampu mendongkrak pemahaman konsep geometri secara substansial karena memfasilitasi siswa untuk menghubungkan representasi simbolik (seperti rumus dan matriks koordinat) dengan representasi visual secara

langsung (*direct mapping*). Temuan empiris tersebut semakin menegaskan argumentasi bahwa keunggulan utama aplikasi GeoTransformAR tidak semata-mata terletak pada kecanggihan teknologi komputasinya, melainkan pada keselarasan desain instruksional visualnya dengan struktur serta batas-batas kognitif alami yang dimiliki oleh siswa.

Komponen interaktivitas AR dalam GeoTransformAR memegang peranan yang sangat vital dalam memicu dan mempertahankan ketergantungan kognitif (*cognitive engagement*) aktif dari pihak siswa. Adanya fitur manipulasi objek secara langsung memberikan ruang agensi bagi siswa untuk melakukan metode *trial and error* serta eksplorasi mandiri terhadap konsep transformasi, sehingga mengubah paradigma belajar mereka dari penerima informasi yang pasif (*passive learners*) menjadi penemu konsep yang aktif (*active explorers*). Selaras dengan pemikiran Li et al. (2022), lingkungan pembelajaran AR interaktif terbukti mampu meningkatkan keterlibatan mendalam siswa karena menyajikan pengalaman belajar berbasis penemuan (*discovery learning*) dan kontrol kendali penuh terhadap objek virtual yang dihadapi.

Kemampuan teknis untuk memutar, menggeser, membalik, dan memperbesar dimensi objek secara langsung membantu siswa mengidentifikasi serta merumuskan hubungan sebab-akibat antara input variabel transformasi dan hasil perubahan geometri objek. Fenomena kognitif ini sangat krusial, terutama ketika siswa mempelajari sub-materi rotasi dan dilatasi yang secara tradisional sangat sulit divisualisasikan apabila guru hanya mengandalkan media dua dimensi di atas kertas. Melalui AR, sifat-sifat

inheren dari rotasi (seperti pusat rotasi dan arah sudut) serta dilatasi (seperti faktor skala) dapat diamati perilakunya secara dinamis dan presisi.

Temuan riset mengenai peningkatan performa spasial ini didukung pula oleh studi dari Triswidrananta et al. (2024), yang menyatakan bahwa pemanfaatan teknologi AR dalam pembelajaran matematika secara linier berkontribusi pada peningkatan kemampuan berpikir spasial (*spatial thinking skills*) siswa melalui perolehan pengalaman belajar yang bersifat imersif serta kontekstual. Dalam domain matematika yang lain namun serupa, Shandy (2024) juga menunjukkan bahwa penggunaan AR dalam pembelajaran Sistem Persamaan Linear Dua Variabel (SPLDV) mampu meningkatkan pemahaman konseptual secara drastis berkat sajian visualisasi dinamis yang membantu siswa menghubungkan konsep aljabar yang abstrak dengan representasi geometris konkret.

Efektivitas menyeluruh dari aplikasi GeoTransformAR ini dapat dirangkum dan dijelaskan melalui tiga mekanisme psikopedagogis utama, yaitu pengurangan beban kognitif ekstrinsik (*extrinsic cognitive load reduction*), penguatan jalur representasi ganda (*dual representation reinforcement*), serta peningkatan interaktivitas kognitif siswa (*cognitive interactivity enhancement*). Ketiga mekanisme ilmiah ini bekerja secara simultan dan saling menguatkan (*interconnected*) dalam memfasilitasi siswa, sehingga mereka dapat menginternalisasi konsep-konsep rumit dalam transformasi geometri secara lebih bermakna (*meaningful learning*), mendalam, dan permanen.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dan pengembangan menggunakan model ADDIE, media pembelajaran matematika berbasis *Augmented Reality* (AR) pada materi transformasi geometri kelas IX telah berhasil dikembangkan serta dinyatakan sangat layak secara teoretis maupun praktis untuk memfasilitasi pemahaman konsep secara konkret, interaktif, dan bermakna melalui visualisasi tiga dimensi. Meskipun inovasi digital ini terbukti efektif dalam menjembatani konsep abstrak dengan representasi visual siswa, implementasi luasnya di lapangan masih menghadapi tantangan teknis berupa variasi spesifikasi kamera dan performa gawai siswa, serta ketergantungan pada stabilitas pencahayaan lingkungan dan konektivitas perangkat. Oleh karena itu, pengkondisian faktor teknis dan optimalisasi kesiapan perangkat menjadi aspek krusial yang harus diperhatikan guna menjamin kelancaran serta keberhasilan pemindaian objek AR dalam proses pembelajaran di kelas.

DAFTAR RUJUKAN

- Amanatidis, N. (2022). *Augmented Reality in Education and Educational Games-Implementation and Evaluation : A Focused Literature Review Augmented Reality in Education and Educational Games-Implementation and Evaluation : A Focused Literature Review. Modestum, 1*(March 2022). <https://doi.org/10.29333/cac/11925>
- Angraini, L., Yolanda, F., & Muhammad, I. (2023). *Augmented Reality Dalam Pembelajaran Matematika Berdasarkan Kemampuan Awal Matematis*. Global Research and Consulting Institute (Global-RCI).
- Arikunto, S. (2010). *Prosedur penelitian suatu pendekatan praktek*. Rineka Cipta.
- Asyaroh, S. I., Buchori, A., Wardani, T. I., & Wijayanto, W. (2021). Pengembangan Game Edukasi Bilangan Pecahan Berbasis *Augmented Reality* Sebagai Media Pembelajaran Matematika Kelas III Sekolah Dasar. *JIPETIK: Jurnal Ilmiah Penelitian Teknologi Informasi & Komputer, 2*(1), 39–49. <https://doi.org/10.26877/jipetik.v2i1.7641>
- Bhardwaj, V., Zhang, S., Tan, Y. Q., & Pandey, V. (2025). Redefining learning: student-centered strategies for academic and personal growth. *Frontiers in Education, 10*. <https://doi.org/10.3389/educ.2025.1518602>
- Cahaya, N., Fauziah, N., Ferazona, S., & Hidayati, N. (2024). Lembar Praktikalitas: Instrumen yang Digunakan untuk Menilai Produk yang Dikembangkan pada Penelitian Pengembangan Bidang Pendidikan. *BIOLOGY AND EDUCATION JOURNAL, 4*(1). <https://doi.org/10.25299/baej.2024.16973>
- Delgado-kloos, M. I. C. (2018). *Augmented reality for science learning: A systematic review Abstract. Computers & Education, 123*, 109–123. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2018.05.002>
- Feng, X., Sundman, J., Aarnio, H., Taka, M., Keskinen, M., & Varis, O. (2025). Towards transformative

- learning: students' disorienting dilemmas and coping strategies in interdisciplinary problem-based learning. *European Journal of Engineering Education*, 50(2), 428–450.
<https://doi.org/10.1080/03043797.2024.2424197>
- Hamida, N. A., Sein, L. H., & Ma, W. (2022). Implementasi Teori Meaning Learning David Ausubel Dalam Pembelajaran Sejarah Kebudayaan Islam Di MI Nursyamiyah Tuban. *Jurnal Ilmiah Pendidikan Madrasah Ibtidaiyah Vol.*, 6(4), 1386–1400.
<https://doi.org/10.35931/am.v6i4.1294>
- Ibrahim, M. A., Fauzan, M. lufti Y., Raihan, P., Nurhadi, S. N., Setiawan, U., & Destiyani, Y. N. (2022). Jenis, Klasifikasi dan Karakteristik Media Pembelajaran. *AL-MIRAH: JURNAL PENDIDIKAN ISLAM*, 4(8.5.2017), 106–113.
- Kostiainen, E., & Pöysä-Tarhonen, J. (2025). Meaningful learning over the course of teacher education: Students' reflections. *Teaching and Teacher Education*, 168, 105241.
<https://doi.org/10.1016/j.tate.2025.105241>
- Latri, L., Patta, R., Atjo, S. E. P., & Juhari, A. (2021). *ELPSA dalam Pembelajaran Geometri*. Universitas Negeri Makassar.
- Li, J., Spek, E. Van Der, Hu, J., & Feijs, L. (2022). Extracting Design Guidelines for Augmented Reality Serious Games for Children Extracting Design Guidelines for Augmented Reality Serious Games for Children. *IEEE Access*, 10(2022), 66660–66671.
<https://doi.org/10.1109/ACCESS.2022.3184775>
- Mayer, R. E. (2002). Multimedia learning. In *Psychology of learning and motivation* (Vol. 41, pp. 85–139). Elsevier.
- Morris, D. L. (2025). Rethinking Science Education Practices: Shifting from Investigation-Centric to Comprehensive Inquiry-Based Instruction. *Education Sciences*, 15(1), 73.
<https://doi.org/10.3390/educsci15010073>
- Mu'ti, A. (2025). *Naskah Akademik Pembelajaran mendalam Menuju Pendidikan Bermutu Untuk Semua*. Kementerian Pendidikan Dasar dan Menengah Republik Indonesia.
- Mustaqim, I. (2016). Pemanfaatan Augmented Reality Sebagai Media Pembelajaran. *Jurnal Pendidikan Teknologi Dan Kejuruan*, 13(2), 174–183.
<https://doi.org/10.1109/SIBIRCON.2010.5555154>
- Ncube, M., & Luneta, K. (2025). Concept-based instruction: Improving learner performance in mathematics through conceptual understanding. *Pythagoras*, 46(1).
<https://doi.org/10.4102/pythagoras.v46i1.815>
- Nurhikmah, N., S, R., & Nurdin, N. (2024). *Literature Review : Media Game Edukasi Interaktif dalam Pembelajaran Matematika*. 5(4), 4382–4390.
<https://doi.org/10.37985/jer.v5i4.1573>

- Saputri, D., Mellisa, Hidayati, N., & Fauziah, N. (2023). Lembar Validasi: Instrumen yang Digunakan Untuk Menilai Produk yang Dikembangkan Pada Penelitian Pengembangan Bidang Pendidikan. *BIOLOGY AND EDUCATION JOURNAL*, 3(2), 133–151.
<https://journal.uir.ac.id/index.php/baej/article/view/15347>
- Shandy, A. (2024). Efektivitas Model Pembelajaran Problem Based Learning Berbasis Augmented Reality Untuk Mendorong Pemahaman Konsep Spldv. *Jurnal Ilmiah IPA Dan Matematika (JIIM)*, 1(3), 105–114.
<https://doi.org/10.61116/jiim.v1i3.272>
- Slamet, F. A. (2022). *Model Penelitian Pengembangan (R n D)*. Institut Agama Islam Sunan Kalijogo Malang Redaksi:
- Sugiyono. (2013). *Metode Penelitian Kuantitatif Kualitatif dan R&D*. ALFABETA.
- Sweller, J., van Merriënboer, J. J. G., & Paas, F. (2019). Cognitive architecture and instructional design: 20 years later. *Educational Psychology Review*, 31(2), 261–292.
<https://doi.org/10.1007/s10648-019-09465-5>
- Triswidrananta, O. D., Pramudhita, A. N., & Selvia, E. M. (2024). Game Edukasi Augmented Reality Berbasis RME (Realistic Mathematics Education) Untuk Meningkatkan Computational Thinking Siswa. *Inteligensi: Jurnal Ilmu Pendidikan*, 7(1), 168–179.
<https://doi.org/10.33366/ilg.v7i1.5907>
- Udeozor, C., Chan, P., Abegão, F. R., & Glassey, J. (2023). Game - based assessment framework for virtual reality , augmented reality and digital game - based learning. *International Journal of Educational Technology in Higher Education*.
<https://doi.org/10.1186/s41239-023-00405-6>
- Vhalery, R., Setyastanto, A. M., & Leksono, A. W. (2022). Kurikulum Merdeka Belajar Kampus Merdeka: Sebuah Kajian Literatur. *Research and Development Journal of Education*, 8(1), 185.
<https://doi.org/10.30998/rdje.v8i1.11718>
- Winaryati, E., Munsarif, M., Mardiana, & Suwahono. (2021). *Cercular Model of RD&D (Model RD&D Pendidikan dan Sosial)*. KBM INDONESIA.
- Yang, L., Susanti, W., Hajjah, A., Marlim, Y. N., & Tendra, G. (2022). PERANCANGAN MEDIA PEMBELAJARAN MATEMATIKA MENGGUNAKAN TEKNOLOGI AUGMENTED REALITY. *Edukasi: Jurnal Pendidikan*, 122–136.
<http://journal.ikipgriptk.ac.id/index.php/edukasi/article/view/3830>