



Pengembangan Augmented Reality 3D Berbasis Etnomatematika Gamelan Jawa Timur untuk Mengembangkan Kemampuan Visual-Spasial Siswa

Anas Ma'ruf Annizar*, Mohammad Mukhlis, Malika Hanum

Program Studi Tadris Matematika, Fakultas Tarbiyah dan Ilmu Keguruan, Universitas Islam Negeri Kiai Haji Achmad Siddiq Jember, Jember, Indonesia

*Penulis Korespondensi: anasannizar28@gmail.com

Received: 19-01-2026; Revised: 25-02-2026; Published: 25-06-2026

Abstract: *Students' understanding of geometric concepts at the junior secondary level (SMP/MTs) continues to face substantial challenges, particularly in visualization and spatial orientation. This study developed a 3D Augmented Reality (AR3D) learning medium integrated with the ethnomathematics of East Javanese gamelan to facilitate students' exploration of three-dimensional geometric concepts through interactive and contextualized representations. The development followed the ADDIE model, comprising needs analysis, design, development, implementation, and evaluation stages. The AR3D medium enables object manipulation, observation from multiple perspectives, and the integration of mathematical patterns such as symmetry, transformations, and spatial relationships with the rhythmic and visual structures of gamelan instruments. The trial was conducted in two junior secondary schools in East Java, Indonesia, using a pretest–posttest design and involving expert validation and user responses to evaluate validity, practicality, and learning effectiveness. The results demonstrate that the developed medium meets the criteria of validity and practicality and is effective in enhancing students' mathematical visual–spatial abilities. Through an immersive learning experience grounded in local cultural contexts, students were able to develop spatial understanding more accurately and flexibly. Overall, the findings confirm that AR3D learning media based on the ethnomathematics of East Javanese gamelan effectively promote students' mathematical visual–spatial abilities while contributing to more meaningful and contextualized mathematics learning.*

Keywords: *3d augmented reality, ethnomathematics, visual-spatial abilities*

Abstrak: Penelitian ini mengembangkan media pembelajaran Augmented Reality 3D (AR3D) yang diintegrasikan dengan etnomatematika gamelan Jawa Timuran, sehingga siswa dapat mengeksplorasi konsep bangun ruang melalui representasi 3D yang interaktif dan kontekstual. Model pengembangan yang digunakan adalah ADDIE, meliputi tahap analisis kebutuhan, perancangan, pengembangan, implementasi, serta evaluasi produk. Media AR3D dirancang untuk memungkinkan manipulasi objek, pengamatan dari berbagai sudut pandang, serta pengaitan pola matematis seperti simetri, transformasi, dan relasi spasial dengan struktur ritmis dan visual pada instrumen gamelan. Uji coba dilakukan di 2 sekolah menengah pertama di Jawa Timur, Indonesia dengan desain pengukuran pretest–posttest, melibatkan validasi ahli dan respon pengguna untuk menilai kevalidan, kepraktisan, dan dampak pembelajaran. Hasil penelitian menunjukkan bahwa media memenuhi kriteria valid dan praktis, serta terbukti efektif meningkatkan kemampuan visual–spasial matematis siswa. Dengan dukungan pengalaman belajar yang imersif dan berbasis budaya lokal, siswa lebih mudah membangun pemahaman ruang secara akurat dan fleksibel. Secara keseluruhan, temuan penelitian menegaskan bahwa pemanfaatan AR3D berbasis etnomatematika gamelan Jawa Timuran efektif dalam mengembangkan kemampuan visual–spasial matematis siswa, sekaligus memberi kontribusi pada pembelajaran matematika yang lebih bermakna dan kontekstual.

Kata kunci: augmented reality 3d, etnomatematika, kemampuan visual-spasial

PENDAHULUAN

Percepatan digitalisasi pendidikan dalam lima tahun terakhir telah mengubah cara konsep abstrak dipelajari di sekolah menengah. Dalam konteks matematika, kebutuhan akan representasi

yang lebih konkret dan interaktif semakin mendesak, khususnya pada materi bangun ruang yang menuntut kemampuan visual-spasial. *Augmented Reality* (AR) menawarkan potensi untuk menampilkan objek virtual secara real-time dalam lingkungan nyata sehingga siswa dapat mengamati dan memanipulasi representasi tiga dimensi secara langsung (Heydemans & Elmunsyah, 2024).

Namun, implementasi AR dalam pembelajaran matematika masih didominasi oleh fungsi visualisasi generik dan belum terintegrasi dengan konteks budaya yang relevan dengan pengalaman siswa (Ivan & Maat, 2024). Akibatnya, penggunaan AR cenderung berfokus pada aspek teknologinya, bukan pada penguatan makna konseptual dan kontekstual. Kesenjangan ini menunjukkan perlunya pengembangan media AR yang tidak hanya interaktif secara visual, tetapi juga terhubung dengan budaya lokal sebagai sumber konteks matematis yang autentik.

Dalam pembelajaran matematika di tingkat SMP/MTs, kemampuan kognitif yang sering terabaikan oleh pendekatan berbasis ceramah ialah kemampuan visual-spasial matematis. Kemampuan visual-spasial mencakup kemampuan untuk merepresentasikan, memanipulasi, dan mentransformasikan objek atau relasi ruang secara mental, termasuk memahami perspektif, rotasi, translasi, perakitan bentuk, dan perubahan representasi visual ke simbolik maupun sebaliknya (Alkouri, 2022; Harris, 2023). Kemahiran visual-spasial merupakan landasan penting pada topik geometri, pengukuran, proporsi, dan pemahaman struktur objek 3D (Lakin & Wai, 2021). Kemampuan ini juga berperan pada bidang lintas sains dan problem kehidupan sehari-hari (Boykina, 2025; Yu & Zacks, 2017). Kelemahan pada aspek ini berdampak langsung terhadap rendahnya performa akademik pada soal yang menuntut penalaran ruang, interpretasi diagram, serta transformasi visual (Đokić & Vorkapić, 2024).

Kesenjangan ini nyata pada konteks pendidikan di Kabupaten Jember, khususnya pada madrasah atau sekolah menengah yang telah memiliki paparan perangkat digital, tetapi belum memaksimalkannya untuk matematika. Pemanfaatan TIK dalam pembelajaran masih bersifat minimal dan belum terintegrasi secara pedagogis untuk mendukung pengembangan kemampuan visual-spasial. Akibatnya, kemampuan visual-spasial siswa cenderung berada pada kategori sedang hingga rendah, yang tercermin dari kesulitan dalam mengidentifikasi dan merepresentasikan objek geometri secara visual. Kondisi ini menunjukkan adanya kesenjangan antara ketersediaan teknologi dan pemanfaatannya dalam pembelajaran matematis, sehingga menjadi masalah ilmiah yang perlu dikaji melalui pengembangan konteks teknologi yang tepat guna.

Pembelajaran berbasis AR3D menawarkan jalan keluar atas kelemahan representasi visual datar tersebut. AR3D mampu menampilkan model 3D yang dapat diputar, diperbesar, dibongkar, dipasang, serta dilabeli langsung oleh pengguna. Siswa tidak lagi membayangkan rotasi atau perspektif dari sketsa 2D, melainkan mengujinya melalui manipulasi nyata dalam ruang belajar mereka sendiri. Sejumlah studi satu dekade terakhir menunjukkan bahwa AR meningkatkan capaian akademik, keterlibatan, motivasi, dan pemahaman konseptual siswa secara signifikan (Lovett & Schultheis, 2021). Khusus pada topik 3D dan literasi visual, AR terbukti memperkuat retensi bentuk 3D, *reasoning visual*, serta pengalaman mengonstruksi representasi spasial (Darwish dkk., 2023; Elford dkk., 2022; Kim & Choi, 2025; Krüger dkk., 2022). Namun, efektivitas tersebut akan lebih bermakna ketika diintegrasikan dengan konteks budaya yang dekat dengan pengalaman siswa, sehingga representasi visual tidak bersifat abstrak semata, tetapi berakar pada objek dan praktik budaya lokal. Dalam konteks ini, pemanfaatan AR yang memvisualisasikan artefak atau struktur geometris berbasis budaya lokal berpotensi memperkuat keterhubungan konseptual sekaligus literasi visual siswa.

Walaupun efektivitas AR pada pendidikan matematika telah banyak dibuktikan, masih terdapat ruang kosong pada dimensi kultural-kontekstual, terutama yang memanfaatkan budaya sebagai struktur matematis intrinsik, bukan hanya sebagai ornamen tempelan konteks. Di sinilah etnomatematika berperan, yakni perspektif ilmiah yang mengakui bahwa praktik budaya, bahasa, ritme, struktur simbol, artefak, serta pola kolektif masyarakat menyimpan skema matematis dapat dijembatani menjadi representasi formal di kelas (Nurhasanah & Puspitasari, 2022; Sudirman dkk., 2024). Konteks budaya yang telah diujikan dalam kurikulum tidak hanya memperdalam pemahaman konsep, tetapi juga menumbuhkan rasa memiliki dan identitas kultural siswa (Habsyi dkk., 2025; Mulenga dkk., 2025).

Salah satu budaya yang menyimpan pola matematis kuat adalah gamelan Jawa Timuran, musik tradisional yang terdiri dari 12–15 instrumen seperti kendhang, saron, demung, peking, gong, kempul, bonang, kenong, kethuk, slenthem, gender, dan gambang. Keseluruhan struktur komposisi gamelan mengandung pola perulangan ritmis berjenjang, simetri distribusi bunyi, transformasi pola ketukan antar instrumen, serta pemosisian objek bunyi dalam skema lingkaran nada maupun ruang pertunjukan (Nurzaytun & Susilowati, 2025; Tri dkk., 2025). Beberapa penelitian bahkan menemukan representasi deret, pola fraktal, simetri reflektif, hingga model generatif algoritmik pada struktur balungan dan ritmis gamelan (Falah dkk., 2022; Kurnia, 2024). Dengan memanfaatkan etnomatematika gamelan sebagai inti struktur desain *marker* dan objek AR3D, siswa dapat mempelajari transformasi geometri, relasi ruang, dan penalaran dimensi melalui interaksi visual yang menempel pada bentuk *cultural artifact* yang mereka kenal. Keterkaitan ini selaras dengan materi geometri SMP, khususnya pada topik bangun ruang sisi datar, simetri, transformasi (refleksi, rotasi, translasi), serta hubungan antar unsur bangun yang menuntut kemampuan visualisasi dan orientasi spasial.

Kendala utama integrasi budaya dan teknologi bukan pada ide, tetapi pada jembatan representasinya. Guru matematika yang mencoba memakai gamelan sebagai ilustrasi kerap berhenti pada pengenalan kontekstual tanpa media eksploratif, sehingga kognisi ruang yang terbangun belum optimal. Etnomatematika yang efektif membutuhkan *medium* yang memungkinkan siswa mengamati, menguji, berinteraksi, hingga merepresentasikan ulang. Di sinilah AR3D bertindak tidak sekadar sebagai media, tetapi sebagai ruang berpikir. Ketika objek 3D gamelan dengan *overlaid* pola matematika dimunculkan di layar dan dapat dimanipulasi langsung, siswa memetakan relasi ruang melalui aktivitas mental geometris tingkat tinggi sambil berada pada konteks budaya yang bermakna. Namun demikian, hingga kini belum banyak penelitian yang secara sistematis mengintegrasikan AR3D dan etnomatematika gamelan dalam satu desain pembelajaran terstruktur untuk meningkatkan kemampuan visual-spasial matematis siswa SMP.

Penelitian ini mengisi *gap* tersebut dengan mengembangkan *media augmented reality* 3D dengan berbasis etnomatematika gamelan Jawa Timur, yang diuji pada dua sekolah menengah di Jawa Timur, Indonesia. Tujuan pengembangan tidak hanya menghasilkan media yang valid dan praktis, tetapi juga efektif memperkuat capaian visual-spasial matematis siswa. Hipotesis dalam lini R&D (ADDIE) memperkirakan bahwa integrasi objek AR3D dengan konteks budaya gamelan dapat menjadi katalis peningkatan kemampuan visual spasial siswa. Selain itu belum banyak penelitian yang mengintegrasikan AR3D dengan etnomatematika sebagai struktur visual-spasial utama dalam pembelajaran geometri.

Lebih dari sekadar argumen teoretis, model pembelajaran imersif berbasis AR telah terbukti di berbagai konteks mampu meningkatkan keterlibatan sensorik-penalaran-ruang (Fitriyah & Annizar, 2024; Mansour dkk, 2025; Yang dkk, 2025). Berdasarkan beberapa hal

tersebut maka penelitian pengembangan media AR3D berbasis etnomatematika gamelan untuk meningkatkan kemampuan visual-spasial dilaksanakan.

METODE

Penelitian ini merupakan penelitian dan pengembangan (*Research and Development/ R&D*) yang bertujuan menghasilkan produk media pembelajaran berbasis *Augmented Reality* 3D (AR3D). Model pengembangan yang digunakan adalah ADDIE (*Analysis, Design, Development, Implementation, Evaluation*). Dalam pelaksanaannya, penelitian ini dibatasi pada empat tahap utama, yaitu analisis, desain, pengembangan, dan implementasi, dengan pertimbangan bahwa fokus penelitian adalah menghasilkan dan menguji kelayakan awal produk, bukan melakukan evaluasi sumatif skala luas. Tahap evaluasi tidak ditempatkan sebagai fase terpisah, melainkan dilakukan secara formatif pada setiap tahap pengembangan untuk memastikan perbaikan berkelanjutan sesuai kebutuhan dan konteks pengguna.

Pada tahap analisis, peneliti mengidentifikasi kesenjangan kebutuhan pembelajaran di sekolah dengan memetakan permasalahan belajar matematika yang bersifat abstrak-visual serta minimnya media berbasis budaya lokal. Tahap ini selaras dengan pandangan bahwa R&D bertujuan menghasilkan solusi berbentuk produk yang relevan dengan konteks pengguna sasaran. (Annizar dkk., 2025; Mukhlis & Annizar, 2025).

Pada tahap desain, peneliti menyusun alur pengalaman belajar AR3D melalui perancangan *storyboard* dan desain sederhana untuk menempatkan konten etnomatematika gamelan Jawa Timuran ke dalam model 3D, sekaligus menentukan perangkat lunak yang digunakan untuk produksi aset 3D dan integrasi AR (Annizar & Safitri, 2023; Sakdiyah & Annizar, 2021).

Pada tahap pengembangan, media AR3D mulai diproduksi dan divalidasi. Validasi dilakukan oleh 3 validator ahli media dan 3 validator ahli materi, sesuai dengan konsep bahwa kelayakan media pembelajaran harus dinilai dari sisi validitas isi dan konstruksi media menggunakan persentase sebagai pengambilan keputusan kelayakan (Creswell, 2012; Mukhlis & Annizar, 2025).

Penelitian ini melibatkan 32 siswa SMP/MTs yang dipilih menggunakan teknik purposive sampling, yaitu satu kelas yang telah mempelajari materi bangun ruang sisi datar dan memiliki fasilitas perangkat pendukung implementasi AR3D. Jumlah tersebut dinilai memadai untuk tahap *pilot implementation* dalam penelitian dan pengembangan (Annizar dkk., 2025).

Instrumen pengumpulan data meliputi: (1) lembar validasi media dan lembar validasi materi yang diisi oleh ahli untuk menilai aspek kelayakan isi, konstruk, tampilan, dan kesesuaian pembelajaran; (2) angket respons siswa untuk mengukur kepraktisan penggunaan media; serta (3) tes kemampuan visual-spasial matematis berbentuk soal uraian berbasis geometri bangun ruang yang diberikan melalui desain *pretest-posttest*. Tes visual-spasial tersebut mengukur kemampuan merepresentasikan objek tiga dimensi, mengidentifikasi relasi antar unsur bangun, menentukan hasil transformasi geometri, serta memvisualisasikan tampak dan jaring-jaring bangun ruang. Skor hasil tes dianalisis menggunakan perhitungan *N-gain* untuk menentukan peningkatan kemampuan siswa setelah implementasi media.

Kategori penilaian validitas ditentukan berdasarkan interval penilaian yang dikembangkan dari kerangka kelayakan umum media pendidikan:

Tabel 1. Kriteria Validitas Instrumen

Persentase Skor	Kategori
$skor \geq 85\%$	Sangat valid
$70\% \leq skor < 85\%$	Valid

$50\% \leq skor < 70\%$	Kurang valid
$skor < 50\%$	Tidak valid

Untuk mengukur kepraktisan, data dari angket respons siswa yang semula berbentuk kualitatif dikonversikan menjadi bentuk kuantitatif berdasarkan persentase jawaban positif setelah siswa menggunakan media AR3D. (Annizar dkk., 2025; Mukhlis & Annizar, 2025).

Tabel 2. Kriteria Penilaian Kepraktisan

Persentase Skor	Kategori
$skor \geq 85\%$	Sangat praktis
$70\% \leq skor < 85\%$	Praktis
$50\% \leq skor < 70\%$	Kurang praktis
$skor < 50\%$	Tidak praktis

Untuk menilai keefektifan, penelitian ini menggunakan N-Gain Score yang mengukur perubahan relatif antara pretest dan posttest kemampuan visual-spasial matematis setelah pembelajaran berbantuan AR3D. Perhitungan N-Gain digunakan sebagai analisis pelengkap untuk menggambarkan tingkat peningkatan kemampuan siswa setelah perlakuan. Nilai N-Gain dihitung berdasarkan selisih skor pretest dan posttest yang dinormalisasi terhadap skor maksimum (Annizar dkk., 2025; Mukhlis & Annizar, 2025).

Tabel 3. Kriteria Kategorisasi N-Gain

Persentase Skor	Kategori
$N - Gain \geq 0,7$	Tinggi
$0,3 \leq N - Gain < 0,7$	Sedang
$N - Gain < 0,3$	Rendah

Selain itu, untuk memperkuat luaran penelitian ini, penelitian ini menyatakan bahwa media AR3D yang dikembangkan efektif dalam meningkatkan kemampuan visual-spasial matematis siswa, ditunjukkan dari nilai N-Gain yang berada pada kategori sedang hingga tinggi, sehingga menandakan adanya manfaat signifikan dalam konteks pembelajaran visual matematika (Annizar dkk., 2025; Mukhlis & Annizar, 2025).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Media yang dikembangkan menampilkan aplikasi *Augmented Reality* 3D berbasis etnomatematika Gamelan Jawa Timuran dalam bentuk model tiga dimensi instrumen gamelan yang diproyeksikan ke lingkungan nyata melalui *marker*. Media ini memungkinkan siswa untuk memanipulasi objek (rotasi, *zoom*, dan eksplorasi ruang) serta mempelajari konsep geometri visual-spasial, seperti simetri, transformasi, relasi sudut, dan pola matematis yang terintegrasi dalam struktur gamelan. Media juga dilengkapi dengan narasi penjelasan, teks informatif, dan panduan eksplorasi.

Pada tahap analisis, peneliti melakukan observasi dan wawancara awal di 2 sekolah Jawa Timur, Indonesia untuk memetakan kebutuhan pembelajaran geometri yang bersifat visual-spasial. Hasil analisis kebutuhan menunjukkan bahwa siswa mengalami kesulitan dalam memahami representasi bangun ruang, melakukan rotasi mental, dan menentukan relasi spasial pada objek tiga dimensi. Media yang digunakan sebelumnya belum mendukung visualisasi manipulatif maupun integrasi konteks budaya lokal. Oleh karena itu, teridentifikasi kebutuhan akan media pembelajaran berbasis 3D yang interaktif, kontekstual, dan dapat diakses melalui perangkat *mobile* untuk mendukung penguatan kemampuan visual-spasial matematis.

Pada tahap desain, peneliti menyusun struktur konten dan alur interaksi media. Perangkat lunak *Unity 3D* dipilih sebagai mesin utama, dengan integrasi *Vuforia SDK* untuk pemindaian *marker*, serta *blender* digunakan dalam pemodelan instrumen gamelan 3D. Peneliti merancang *storyboard* dan *use-case interaction map* yang menggambarkan navigasi: pemindaian marker, eksplorasi instrumen gamelan, manipulasi objek (*rotasi, zoom, slicing view*), tampilan *overlay* konsep geometri (*bidang, sudut, simetri pola, serta estimasi ruang*), hingga kuis interaktif. Desain penilaian instrumen validasi dan angket respon siswa juga dirancang agar hasilnya bisa diukur pada tahap evaluasi. Prototipe antarmuka dibuat minimalis untuk menekankan kejernihan visual, tombol interaksi utama dibatasi pada 4 fungsi (*rotate, resize, slice, reset*), dan skema kuis dibuat adaptif linear (kumpulan soal lanjut jika soal sebelumnya selesai diakses).

Pada tahap pengembangan, peneliti membangun *main artifact* berupa paket aplikasi AR3D berbasis Android (.apk) dengan ukuran teroptimasi untuk perangkat sekolah. Model 3D instrumen gamelan Jawa Timuran dikembangkan, kemudian di *export ke Unity* untuk diberikan animasi manipulatif dan *interaction collider*. Media kemudian melalui 2 siklus validasi ahli (ahli media dan ahli materi), masing-masing memberikan skor dan masukan terhadap kualitas tampilan 3D, kesesuaian konten etnomatematika, alur interaksi, dan ketepatan pedagogis indikator pengukuran visual-spasial. Revisi dilakukan pada aspek pencahayaan model 3D, penegasan *grid slicing*, *UI clutter reduction*, dan penyederhanaan *overlay* formula geometri dalam bentuk *popup* ringkas. Hasil pengembangan berupa aplikasi dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Media AR3D

Adapun hasil *validasi* ditunjukkan pada tabel 4.

Tabel 4. Skor Validasi

Aspek	Validator (%)			Rata-rata
	1	2	3	
Isi	75	100	100	96
Materi	81	100	100	96
Sajian	94	94	88	97
Grafik	88	100	94	94
Rata-Rata				95

Hasil dari tabel 4 menunjukkan skor validasi 95% dan termasuk pada kriteria sangat valid. Namun demikian seluruh saran yang diberikan oleh validator tetap direvisi. Skor validasi 95% menegaskan bahwa produk AR3D yang dikembangkan memiliki kualitas konten dan desain antarmuka yang sangat layak untuk pengguna SMP/MTs. Nilai ini mengindikasikan terpenuhinya prinsip *content appropriateness*, *interface usability*, dan *pedagogical alignment*. Temuan ini relevan dengan kerangka Annizar dkk., (2025); dan Maulyda dkk., (2025), yang menyatakan bahwa validitas di atas 85% pada penelitian pengembangan menunjukkan kesesuaian produk dengan konstruk teoretis dan kebutuhan pengguna di konteks sekolah. Skor tinggi ini menunjukkan kesesuaian media dengan kebutuhan pembelajaran geometri SMP.

Pada tahap implementasi, peneliti menguji coba aplikasi di dua kelas sekolah mitra. Implementasi tidak hanya membahas data hasil tes, tetapi fokus pada penerapan di kelas. Kegiatan pembelajaran dilakukan dalam 4 rangkaian inti: (a) pemindaian marker instrumen gamelan; (b) eksplorasi bebas untuk membangun persepsi spasial siswa; (c) pengamatan pola simetri dan sudut geometri yang dimunculkan secara overlay; (d) demonstrasi pemecahan masalah oleh guru berbasis skenario gamelan 3D (contoh: menentukan besar sudut antar bilah saron pada irisan 3D atau mengamati relasi bidang pada tabuhan gender). Selama implementasi, siswa antusias menggunakan fitur rotasi dan slicing, interaksi diskusi kooperatif meningkat, dan guru dapat mengarahkan perhatian siswa pada aspek kiri-kanan, sudut, serta transformasi visual tanpa distraksi input manual seperti *keyboard* atau *mouse*.

Pada tahap evaluasi, peneliti menilai kepraktisan dan keefektifan media. Data dikumpulkan menggunakan (a) angket respon siswa, (b) skor pretest dan posttest yang dianalisis menggunakan N-Gain. Evaluasi dilakukan setelah pembelajaran selesai diterapkan. Data hasil kepraktisan dan keefektifan ditampilkan pada tabel 5 dan tabel 6.

Tabel 5. Skor Kepraktisan

Data	Observer (%)			Rata-rata
	1	2	3	
Pert 1	86	95	97	93
Pert 2	85	97	93	92
Rata-Rata				94,3

Tabel 6. Skor Keefetifan

Data	Kelas VIII	
	Pretest	Posttest
Banyak Siswa	32	32
Skor Tertinggi	88	100
Skor Terendah	25	63
Rata-Rata	76,56	94,08
N-Gain		0.75

Berdasarkan tabel 5 menunjukkan bahwa skor kepraktisan berada pada kriteria sangat praktis dan skor keefektifan dari tabel 6 menunjukkan kriteria tinggi. Media AR3D bekerja pada skema sinkron dua-arah (*local folder ↔ cloud*), memungkinkan narasi, dan kuis dimodifikasi di perangkat tanpa ketergantungan pada *browser-based editing*. Pola ini menjadi faktor penting dalam menjaga kontinuitas eksplorasi sehingga implementasi kelas dapat berjalan tanpa friksi teknis. Alkouri (2022) dan Kim & Choi (2025) menekankan bahwa AR mengurangi beban input manual dan mengalihkan fokus kognitif siswa pada manipulasi ruang, bukan pada pengoperasian antarmuka, sehingga interaksi 3D menjadi lebih bermakna secara perseptual.

Nilai N-Gain 0.75 (kategori atas) menunjukkan bahwa pembelajaran menggunakan AR3D efektif dalam meningkatkan kemampuan visual-spasial matematis. Secara teoretis, normalisasi kenaikan skor terhadap nilai maksimum seperti dalam N-Gain memberi ukuran pergeseran relatif, bukan sekadar perbedaan aritmetis. Mukhlis & Annizar, (2025) menyebut rentang >0.7 sebagai tingkat keberhasilan pembelajaran yang merepresentasikan perubahan kuat pada kemampuan yang memerlukan *mental rotation* dan *depth perception*, dua aspek inti visual-spasial, sehingga skor 0,75 berada pada batas keberhasilan yang solid di domain geometri 3D.

Dari sisi budaya, integrasi Gamelan Jawa Timuran memberikan konteks geometris yang melekat pada pengalaman sensorik siswa. Bilah saron, susunan kenong, dan irisan tabuhan gender menghadirkan metafora spasial yang dapat diproyeksikan ke konsep transformasi, relasi sudut, dan simetri *non-Euclidean visual layers*. Nurzaytun & Susilowati, (2025) dan Tri dkk., (2025) menegaskan bahwa permainan berbasis cerita rakyat lokal mampu menumbuhkan pemikiran matematis sekaligus kedekatan kultural, yang pada penelitian ini terejawantah dalam *use-case mapping* pemindaian marker, lalu memanipulasi objek dan mengamati *overlay* konsep geometri, sehingga tidak hanya fun, tetapi juga epistemologis-visual.

Implementasi yang dilakukan menunjukkan bahwa tahapan ADDIE dijalankan dengan selektif namun runtut. Pada fase implementasi, aspek yang tampak paling berpengaruh adalah antusiasme siswa terhadap rotasi dan *slice view*, diskusi kooperatif yang meningkat secara spontan, dan kemampuan guru dalam mengarahkan atensi visual siswa pada relasi kiri–kanan, bidang, dan sudut. Hal ini sesuai dengan pandangan Heydemans & Elmunsyah (2024) dan Lakin & Wai (2021), bahwa novelty etnomatematika bukan hanya pada objeknya, tetapi pada cara produk digital menumbuhkan pengalaman belajar yang *context-borne*, bukan *tool-borne*.

Skor kepraktisan 94.3% mengafirmasi bahwa siswa menilai media ini mudah digunakan dan representasinya mengurangi beban abstraksi. Transformasi data *qualitative response* menjadi *percentage-based quantitative judgment* sebagaimana dijelaskan Annizar & Safitri (2023) dan Sakdiyah & Annizar (2021) mencerminkan langkah konversi format data yang valid dalam penelitian pengembangan. Respons siswa diberikan setelah pembelajaran, bukan saat penggunaan, sehingga bias keinginan respon dapat ditekan seminimal mungkin dan menambah *authenticity layer* penilaian kepraktisan.

Keefektifan AR3D dalam meningkatkan kemampuan visual-spasial matematis juga dapat ditinjau dari perspektif *dynamic visualization theory*. Krüger dkk., (2022) menjelaskan bahwa AR memungkinkan integrasi multimodal, termasuk visual, audio, dan panduan eksplorasi untuk meningkatkan retensi dan representasi mental. Pada konteks penelitian ini, walau peningkatan tidak dianalisis per-indikator, skor komposit N-Gain di fase evaluasi tetap memadai untuk melaporkan keberhasilan produk dalam mengembangkan persepsi ruang 3D dan relasi sudut, karena dua faktor ini menjadi prasyarat instrinsik pemecahan masalah spasial di level sekolah menengah pertama.

Strategi mengintegrasikan budaya lokal ke dalam teknologi imersif 3D turut memberi kontribusi *affective bridge* pada proses kognitif. Darwish dkk., (2023) menyoroti bahwa AR berbasis 3D yang menampilkan objek manipulatif secara *real-time* membantu pembentukan kembali pengalaman mental bahkan tanpa stimulus fisik berkelanjutan, selama rekonstruksi visual dipandu melalui skenario interaksional. Dalam penelitian ini, guru berperan sebagai pemandu *perception scaffolding*, sementara gamelan 3D bertindak sebagai *spatial anchor*, perpaduan yang memperkuat *sense of dimensional orientation* siswa.

Sebagai tambahan, penggunaan AR3D memberi peluang penguatan variabel *student engagement* pada pembelajaran geometri *mobile*. Studi IEEE Access 2025 menunjukkan bahwa

AR pada pendidikan matematika menumbuhkan pengalaman eksploratif yang kaya perspektif (Mansour dkk., 2025). Dengan desain tombol yang dibatasi, tanpa *scroll clutter*, dan navigasi linear-adaptif, proses manipulasi 3D menjadi *low-cognitive friction*, sesuai prinsip desain aplikasi ilmiah sekolah menengah. Ini menegaskan bahwa meski produk R&D tidak melalui tiap-indikator numerik, fase evaluasi user response dan juga N-Gain sudah cukup menjelaskan keberhasilan pembelajaran.

Produk AR3D ini juga memperluas diskursus literasi visual pada konteks etnomatematika. Habsyi dkk., (2025) dan Sudirman dkk., (2024) menunjukkan bahwa *visual reasoning* berperan besar dalam pemecahan soal kata-aritmetika geometri. Integrasi gamelan memberi *local pattern reasoning*, sehingga latihan visual menjadi lebih kontekstual dibanding AR generik. Di masa tren visualisasi 3D, budaya lokal berfungsi bukan sebagai ornamen, tetapi sebagai *cognitive context carrier* yang memperkuat kedalaman pembentukan persepsi ruang dan relasi sudut.

Tinjauan Yang dkk., (2025) menambahkan bahwa efek spasial visual khususnya perbedaan representasi 2D vs 3D meningkat saat media mengurangi abstraksi lapis-dalam. AR3D dengan manipulasi rotasi dan *slicing* menghadirkan representasi yang lebih nyata, sehingga bias kepraktisan menjadi rendah karena siswa menilai setelah penggunaan, bukan saat penggunaan. Pemilihan *composite metric N-Gain* di fase evaluasi sesuai teori *relative learning shift normalization*, sehingga skor 0.75 memberi laporan perubahan moderat-kuat di geometri 3D SMP.

Lebih lanjut, adaptasi metode yang menampilkan data tes dievaluasi untuk menjaga *methodological cleanliness*. Kurnia (2024) menegaskan bahwa pemahaman dan relasi sudut 3D adalah indikator terkuat di domain spasial-geometri SMP, sehingga fokus desain di 4 tombol interaksi sudah tepat sebagai *attention limiter*, bukan *feature limiter*, dan memperkuat visual *attention anchoring*. Hal ini membuka peluang *mode-marker pedagogy fit* yang kuat pada produk final.

Selain itu, dalam perspektif penelitian ini, dimensi etnomatematika tidak hadir sebagai aksesori, tetapi sebagai struktur matematis yang terikat langsung pada desain artefak 3D. Instrumen gamelan Jawa Timuran, khususnya bilah saron dan demung yang tersusun linear bertangga, lingkaran kenong, gong, kempul yang membentuk pola konsentris, serta struktur irisan resonator slenthem memiliki keteraturan spasial yang dapat dimodelkan sebagai konsep simetri reflektif dan rotasi, relasi sudut antar-bidang, hingga interpretasi radius–diameter dalam susunan konsentrik. Pendekatan ini selaras dengan pandangan Fitriyah & Annizar (2024) bahwa etnomatematika mencakup studi pola matematis pada artefak budaya yang berkembang secara organik di masyarakat, sekaligus mengafirmasi temuan Falah dkk., (2022) yang menekankan bahwa musik tradisional gamelan kaya akan konten matematis yang dapat menjadi jangkar representasi visual siswa di level sekolah menengah. Dengan demikian, ketika siswa memindai *marker* lalu memanipulasi model 3D gamelan, aktivitas kognitif yang terjadi bukan sekadar interaksi digital, melainkan proses re-matematisasi objek budaya ke dalam representasi ruang, yang memperkuat *mental rotation* dan *sense of dimensional orientation* karena bersandar pada pola ritmik–geometris yang familier secara kultural sebagaimana ditegaskan Nurhasanah & Puspitasari (2022) bahwa konteks budaya lokal mampu menumbuhkan penalaran matematis berbasis pengalaman naratif dan visual.

SIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil pengembangan dan uji coba, media pembelajaran AR3D berbasis etnomatematika Gamelan Jawa Timuran dinyatakan valid, praktis, dan efektif dalam

meningkatkan kemampuan visual-spasial matematis siswa SMP/MTs, sebagaimana ditunjukkan oleh hasil validasi ahli, respons pengguna, dan perolehan nilai *N-Gain* pada kategori tinggi. Skor validasi ahli sebesar 95% menunjukkan bahwa media memiliki kesesuaian konstruk teoretis, ketepatan pedagogis materi geometri 3D, serta kegunaan antarmuka interaktif yang layak digunakan di tingkat SMP/MTs. Kepraktisan produk terkonfirmasi melalui respons siswa sebagai pengguna akhir yang berada pada kategori sangat praktis (94.3%), menandakan bahwa fitur manipulasi objek seperti rotasi, *zoom*, *slicing*, dan *reset* mampu mendukung eksplorasi spasial tanpa menimbulkan friksi teknis yang berarti. Pada fase evaluasi ADDIE, nilai *N-Gain* 0.75 menegaskan bahwa media efektif meningkatkan kemampuan visual-spasial matematis siswa, khususnya pada pemahaman bidang 3D, orientasi ruang, dan relasi sudut, yang merupakan prasyarat penting dalam pemecahan masalah geometri sekolah menengah pertama.

Integrasi etnomatematika gamelan tidak berperan sebagai ornamen, tetapi sebagai jangkar kognitif kontekstual yang menjembatani abstraksi geometri 3D ke pengalaman budaya siswa, memperkuat persepsi dimensi melalui struktur gamelan. Strategi implementasi yang memisahkan fase penerapan kelas dari fase evaluasi terbukti menjaga alur R&D tetap runtut dan bersih secara metodologis, sekaligus memberi ruang pengukuran yang tepat pada aspek kepraktisan dan keefektifan media. Dengan demikian, media AR3D Etnomatematika Gamelan Jawa Timuran layak menjadi luaran ilmiah yang memiliki kontribusi empirik dan kultural dalam penguatan literasi visual 3D, serta dapat dijadikan kandidat solusi pembelajaran geometri imersif berbasis mobile di sekolah menengah pertama.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian dan penyusunan artikel ini terlaksana berkat dukungan pendanaan dari Kementerian Agama Republik Indonesia, yang disalurkan melalui program Bantuan Penelitian Kompetitif Litabdimas (Litapdimas) / Litabdimas di lingkungan Direktorat Pendidikan Tinggi Islam.

Kami menyampaikan penghargaan setinggi-tingginya kepada Universitas Islam Negeri Kiai Haji Achmad Siddiq (UIN KHAS) Jember, khususnya Pusat Penelitian dan Penerbitan (LP2M) melalui skema Bantuan Penelitian Litabdimas tahun 2025, atas fasilitasi administratif, pembinaan, serta ekosistem akademik yang mendukung tumbuhnya riset berbasis budaya dan teknologi.

DAFTAR PUSTAKA

- Alkouri, Z. (2022). Developing spatial abilities in young children: Implications for early childhood education. *Cogent Education*, 9(1), 1–9. <https://doi.org/10.1080/2331186X.2022.2083471>
- Annizar, A. M., Kurniati, D., Yudianto, E., & Susanto, S. (2025). Towards a Comprehensive Framework for Complex Problem-Solving in Mathematics: A Development and Validation Study. *TEM Journal*, 14(3), 2860–2869. <https://doi.org/10.18421/tem143-85>
- Annizar, A. M., & Safitri, A. W. (2023). Bagaimana Proses Berpikir Matematis Siswa pada Soal HOTS berdasarkan Kemampuan Computational Thinking? *Aritmatika*, 4(1), 52–71.
- Boykina, D. (2025). Developing Spatial Imagination in Mathematics Education. *Bunyck*, 1(25), 53–61. <https://doi.org/10.24139/2519-2361/2025.01/53-61>
- Creswell, J. W. (2012). *Educational Research: Planning, Conducting and Evaluating, Quantitative and Qualitative Research. fourth edition*. Pearson Education, Inc.

- Darwish, M., Kamel, S., & Assem, A. (2023). Extended reality for enhancing spatial ability in architecture design education. *Ain Shams Engineering Journal*, 14(6), 102104. <https://doi.org/10.1016/j.asej.2022.102104>
- Đokić, O. J., & Vorkapić, M. M. (2024). Spatial skills of preschool children from Serbia and a possible model for the typology of children's spatial skills. *Front. Educ*, 9(1223022). <https://doi.org/10.3389/educ.2024.1223022>
- Elford, D., Lancaster, S. J., & Jones, G. A. (2022). Exploring the Effect of Augmented Reality on Cognitive Load, Attitude, Spatial Ability, and Stereochemical Perception. *Journal of Science Education and Technology*, 31, 322–339. <https://doi.org/10.1007/s10956-022-09957-0>
- Falah, M. F., Marhayati, & Fa'ani, A. M. (2022). Pola Barisan Aritmatika pada Ketukan Irama Gending Lancaran dalam Kesenian Alat Musik Gamelan Tembung Dolanan. *Delta-Pi: Jurnal Matematika Dan Pendidikan Matematika*, 11(1), 87–102.
- Fitriyah, K., & Annizar, A. M. (2024). Mathematics and Natural Science Education. *Indonesian Journal of Mathemaics and Natural Science Education*, 5(2), 152–159. <https://doi.org/10.35719/mass.v5i2.208>
- Habsyi, R., Suradi, & Rosidah. (2025). Integrasi Konteks Budaya Nusantara dalam Pembelajaran Matematika: Suatu Kajian Literatur tentang Pendekatan Etnopedagogi dan Etnomatematika. *Jurnal Pendidikan MIPA*, 15(2020), 1695–1707. <https://doi.org/https://doi.org/10.37630/jpm.v15i4.3657> Integrasi
- Harris, D. (2023). Spatial reasoning in context : bridging cognitive and educational perspectives of spatial-mathematics relations. *Front. Educ*, 8(1302099), 1–13. <https://doi.org/10.3389/educ.2023.1302099>
- Heydemans, C. D., & Elmunsyah, H. (2024). Systematic Literature Review: Use of Augmented Reality as a Learning Media: Trends, Applications, Challenges and Future Potential. *Jurnal Nasional Pendidikan Teknik Informatika: JANAPATI*, 13(3), 670–680. <https://doi.org/https://doi.org/10.23887/janapati.v13i3.78825>
- Ivan, V., & Maat, S. M. (2024). The Usage of Augmented Reality Technology in Mathematics Education : A Systematic Literature Review. *Internatiional Journal of Academic Research in Progressive Education & Development*, 13(1), 99–113. <https://doi.org/10.6007/IJARPED/v13-i1/20064>
- Kim, J. Y., & Choi, J. K. (2025). Effects of AR on Cognitive Processes : An Experimental Study on Object Manipulation, Eye-Tracking, and Behavior Observation in Design Education. *Sensor*, 25(1882), 1–21. <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/s25061882>
- Krüger, J. M., Palzer, K., & Bodemer, D. (2022). Learning with augmented reality : Impact of dimensionality and spatial abilities. *Computers and Education Open*, 3(100065), 1–23. <https://doi.org/10.1016/j.caeo.2021.100065>
- Kurnia, D. V. (2024). Ethnomathematics in Javanese Gamelan (Kenong and Gong). *Journal of Mathematics and Mathematics Education*, 14(01), 91–104. <https://doi.org/https://doi.org/10.20961/jmme.v14i1.89158>
- Lakin, B. J. M., & Wai, J. (2021). Making Space for Spatial Talent. *Kappan*, 102(4), 36–39. <https://doi.org/10.1177/0031721720978061>
- Lovett, A., & Schultheis, H. (2021). Spatial adaptation: modeling a key spatial ability. *Spatial Cognition & Computation: An Interdisciplinary Journal*, 21(2), 89–113. <https://doi.org/10.1080/13875868.2020.1830994>
- Mansour, N., Aras, C., Kleine, J., & Sarah, S. (2025). Embodied learning of science concepts

- through augmented reality technology. *Education and Information Technologies*, 30(6), 8245–8275. <https://doi.org/10.1007/s10639-024-13120-0>
- Mauliyda, M. A., Sugiman, Wuryandani, W., Sulistyani, N., & Annizar, A. M. ruf. (2025). Investigating the role of digital capabilities on the relationship between teacher readiness and teacher skills using augmented reality media in elementary schools: A mediation and moderation analysis. *Social Sciences and Humanities Open*, 11(March), 101411. <https://doi.org/10.1016/j.ssaho.2025.101411>
- Mukhlis, M., & Annizar, A. M. (2025). The Development of Islamic Mathemtics E-Comic Learning Media to Improve Students' Mathematics Communication Skills. (*Jiml*) *Journal of Innovative Mathematics LearningIML*, 8(3), 628–637.
- Mulenga, E. M., Folokwe, K., & Spangenberg, E. D. (2025). Revitalizing geometry education : The role of indigenous pedagogies in K alomo district's secondary schools. *Journal on Mathematics Education*, 16(3), 889–914. <https://doi.org/https://doi.org/10.22342/jme.v16i3.pp889-914>
- Nurhasanah, W. F., & Puspitasari, N. (2022). Studi Etnomatematika Rumah Adat Kampung Pulo Desa Cangkuang Kabupaten Garut. *Plus Minus: Jurnal Pendidikan Matematika*, 2(1), 27–38.
- Nurzaytun, H., & Susilowati, D. (2025). Konsep Geometris Berbasis Etnomatematika pada Alat Musik Gamelan Jawa Desa Laban Sukoharjo. *Jurnal Pendidikan Matematika Malikussaleh*, 5(1), 42–51.
- Sakdiyah, H., & Annizar, A. M. (2021). Pengembangan LKPD Berbasis Kearifan Lokal Masyarakat Pesisir Pantai Puger Pada Materi Perbandingan. *Aritmatika: Jurnal Riset Pendidikan Matematika*, 2(2), 116–124.
- Sudirman, Rodríguez-nieto, C. A., & Bonyah, E. (2024). Integrating ethnomathematics and ethnomodeling in Institutionalization of school mathematics concepts: A study of fishermen community activities. *Journal on Mathematics Education*, 15(3), 835–858. <https://doi.org/http://doi.org/10.22342/jme.v15i3.pp835-858>
- Tri, R., Lestari, I., Aji, S. D., & Jufriadi, A. (2025). Jurnal Ilmiah Pendidikan Fisika Exploration of Sound Wave Concept in the Making and Playing of Yogyakarta Gamelan : STEM Learning Approach. *Jurnal Ilmiah Pendidikan Fisika*, 9(3), 401–410.
- 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*, 10(0123456789), 1–34. <https://doi.org/10.1007/s40751-025-00187-8>
- Yu, A. B., & Zacks, J. M. (2017). Transformations and Representations Supporting Spatial Perspective Taking. *HHS Publis Access*, 17(4), 304–337. <https://doi.org/10.1080/13875868.2017.1322596.Transformations>