

PELATIHAN PENGGUNAAN AR GEOGEBRA PADA MAHASISWA CALON ENGINEER

Ma'ulfi Kharis Abadi^{1*}

¹Universitas Banten Jaya

*Korespondensi: maulfikharisabadi@unbaja.ac.id

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji efektivitas pelatihan penggunaan Augmented Reality (AR) GeoGebra dalam meningkatkan pemahaman mahasiswa teknik sipil terhadap konsep kurva geometri. Menggunakan pendekatan deskriptif-kualitatif berbasis design-based research, pelatihan dilaksanakan dalam tiga tahap: pengenalan, latihan terbimbing, dan eksplorasi proyek mandiri. Hasil menunjukkan peningkatan signifikan dalam pemahaman spasial mahasiswa dan penguasaan visualisasi tiga dimensi. Mahasiswa juga menunjukkan tanggapan positif terhadap penggunaan GeoGebra AR, yang dinilai membantu pemahaman dan meningkatkan motivasi belajar. Kendala yang dihadapi bersifat teknis dan dapat diatasi melalui dukungan pelatihan. Temuan ini menunjukkan bahwa GeoGebra AR dapat menjadi solusi inovatif dalam pendidikan teknik dan memiliki potensi untuk diterapkan secara luas.

Kata kunci: *GeoGebra AR, kurva geometri, pendidikan teknik, visualisasi spasial, teknologi pendidikan*

Abstract

This study aims to examine the effectiveness of GeoGebra-based Augmented Reality (AR) training in enhancing civil engineering students' understanding of geometric curves. Employing a descriptive-qualitative approach grounded in design-based research, the training was conducted in three stages: introduction, guided practice, and project-based exploration. The results indicate significant improvements in students' spatial understanding and three-dimensional visualization skills. Students responded positively to GeoGebra AR, recognizing its role in facilitating conceptual understanding and boosting learning motivation. Technical difficulties encountered were minor and manageable through training support. These findings suggest that GeoGebra AR offers an innovative solution in engineering education and holds broad implementation potential.

Keywords: *GeoGebra AR, geometric curves, engineering education, spatial visualization, educational technology*

1. PENDAHULUAN

Geometri merupakan cabang matematika yang sangat penting dalam dunia teknik, karena menjadi dasar dalam banyak aspek analisis dan desain teknis. Pemahaman konsep geometri memungkinkan calon engineer untuk menginterpretasikan data, menggambarkan struktur, serta menyelesaikan persoalan teknik secara visual dan matematis. Dalam praktiknya, geometri mendasari pemodelan berbagai fenomena teknik, mulai dari konstruksi bangunan hingga perencanaan sistem mekanik dan elektronik. Oleh karena itu, penguasaan geometri bukan hanya penting dalam konteks akademik, melainkan juga sangat menentukan kompetensi profesional lulusan teknik di dunia kerja. Sayangnya, banyak mahasiswa teknik mengalami kesulitan dalam memahami konsep geometri, khususnya dalam penggambaran dan interpretasi kurva sebagai representasi grafis dari fenomena teknis. Penelitian oleh Bakar et al. (2019) menunjukkan bahwa kurangnya kemampuan visualisasi geometri menjadi salah satu faktor penyebab rendahnya prestasi belajar mahasiswa teknik. Kesulitan ini mencerminkan perlunya pendekatan pedagogis yang lebih interaktif dan visual dalam pembelajaran geometri untuk mendukung perkembangan

kemampuan berpikir spasial mahasiswa teknik. Dalam konteks ini, inovasi teknologi pembelajaran sangat diperlukan untuk menjawab tantangan tersebut.

Dalam era digital saat ini, pemanfaatan teknologi berbasis digital telah merambah hampir seluruh aspek kehidupan, termasuk pendidikan. Salah satu pendekatan inovatif yang semakin banyak digunakan adalah penggunaan teknologi Augmented Reality (AR). Teknologi AR memungkinkan integrasi antara dunia nyata dan elemen virtual, menciptakan pengalaman belajar yang lebih interaktif, realistis, dan kontekstual. Menurut penelitian oleh Akcayir & Akcayir (2017), teknologi AR terbukti meningkatkan motivasi, keterlibatan, serta pemahaman konsep-konsep kompleks dalam pembelajaran. GeoGebra, sebuah perangkat lunak matematika interaktif, telah mengadopsi teknologi AR untuk membantu pengguna, khususnya mahasiswa, dalam memahami konsep matematika secara lebih mendalam. Penggabungan AR dalam GeoGebra mempermudah mahasiswa untuk memvisualisasikan objek-objek geometri dalam bentuk tiga dimensi yang lebih intuitif, sehingga mampu meningkatkan daya serap terhadap materi yang disampaikan. Pendekatan ini selaras dengan teori belajar konstruktivistik yang menyatakan bahwa pengetahuan dibangun secara aktif oleh peserta didik melalui pengalaman langsung dan interaksi dengan lingkungannya (Piaget, 1970; Vygotsky, 1978).

Pembelajaran berbasis digital, khususnya melalui teknologi AR, memberikan berbagai manfaat yang signifikan dalam proses pembelajaran geometri. Teknologi ini tidak hanya membuat pembelajaran menjadi lebih menarik dan menyenangkan, tetapi juga mendorong keterlibatan aktif mahasiswa. Mahasiswa dapat langsung berinteraksi dengan objek geometri dalam ruang nyata, memutar, memperbesar, serta mengamati dari berbagai sudut pandang. Hal ini membantu dalam meningkatkan pemahaman spasial dan konseptual yang penting dalam bidang teknik. Penelitian oleh Wojciechowski & Cellary (2013) menunjukkan bahwa integrasi AR dalam pembelajaran dapat meningkatkan efektivitas dan efisiensi proses belajar melalui pengalaman visual yang mendalam. Selain itu, AR dapat memperkuat pembelajaran konstruktivis di mana mahasiswa membangun sendiri pengetahuannya melalui eksplorasi langsung terhadap objek belajar. Dengan demikian, integrasi teknologi digital seperti GeoGebra AR dapat menjadi solusi dalam mengatasi kesulitan belajar yang selama ini dihadapi oleh mahasiswa calon engineer, sekaligus menjembatani kesenjangan antara teori dan praktik yang menjadi tantangan utama dalam pendidikan teknik.

Penelitian ini dilaksanakan di Universitas Banten Jaya, sebuah perguruan tinggi swasta di Provinsi Banten, Indonesia. Universitas ini memiliki program studi teknik sipil yang menjadi tempat pelaksanaan pelatihan AR GeoGebra. Secara ideal, mahasiswa teknik diharapkan memiliki kemampuan visualisasi dan pemahaman geometri yang tinggi, namun realitas di lapangan menunjukkan masih adanya kesenjangan antara kompetensi yang diharapkan dengan kenyataan. Hasil studi pendahuluan menunjukkan bahwa mahasiswa tingkat awal masih mengalami kesulitan dalam memahami dan menggambarkan kurva, yang merupakan salah satu materi dasar dalam geometri teknik. Penelitian oleh Pratama dan Wibowo (2020) mengungkapkan bahwa mahasiswa tingkat awal sering mengalami hambatan kognitif dalam mentransformasikan representasi geometrik dua dimensi ke dalam bentuk tiga dimensi. Fakta ini menggarisbawahi pentingnya inovasi dalam penyampaian materi geometri melalui media yang dapat menstimulasi daya visual dan imajinatif mahasiswa, yang pada gilirannya akan meningkatkan kualitas hasil belajar.

Masalah utama yang ditemukan adalah rendahnya kemampuan mahasiswa dalam memahami representasi kurva dalam konteks ruang tiga dimensi. Hal ini disebabkan oleh keterbatasan metode pembelajaran konvensional yang hanya mengandalkan gambar dua dimensi, serta kurangnya media interaktif yang dapat memfasilitasi eksplorasi objek geometri secara menyeluruh. Akibatnya, mahasiswa menjadi pasif dan tidak memiliki ketertarikan untuk mengeksplorasi konsep geometri lebih dalam. Menurut penelitian Chen et al. (2020), keterlibatan aktif peserta didik dalam pembelajaran berbasis teknologi memiliki korelasi positif terhadap peningkatan kemampuan kognitif dan afektif. Oleh karena itu, penyediaan media pembelajaran yang responsif dan interaktif, seperti GeoGebra AR, sangat diperlukan untuk meningkatkan kualitas pembelajaran di lingkungan pendidikan tinggi teknik.

Untuk menjawab tantangan tersebut, teknologi Augmented Reality (AR) melalui aplikasi GeoGebra menjadi alternatif yang menjanjikan. GeoGebra AR memungkinkan visualisasi objek geometri dalam bentuk tiga dimensi yang ditampilkan secara langsung di ruang nyata. Mahasiswa dapat melakukan manipulasi objek secara langsung, mempercepat pemahaman mereka terhadap bentuk dan sifat geometri. Teknologi ini juga sangat sesuai dengan karakteristik generasi digital saat ini yang cenderung lebih responsif terhadap media interaktif. Studi oleh Radu (2014) menegaskan bahwa AR dapat meningkatkan retensi pembelajaran dan membantu dalam internalisasi konsep-konsep kompleks. Dengan demikian, integrasi GeoGebra AR diharapkan mampu menciptakan lingkungan belajar yang lebih dinamis, kontekstual, dan mendukung pengembangan keterampilan berpikir spasial dan analitis mahasiswa teknik.

Berbagai penelitian terdahulu telah membuktikan efektivitas penggunaan AR dalam pendidikan. Menurut Billinghurst dan Duenser (2012), AR mampu meningkatkan motivasi belajar serta pemahaman konsep-konsep abstrak dengan lebih baik. Penelitian oleh Bower et al. (2014) juga menyatakan bahwa AR dapat menciptakan pengalaman belajar yang lebih mendalam dan bermakna. Sementara itu, GeoGebra sebagai alat bantu visualisasi matematika telah digunakan secara luas dalam berbagai konteks pembelajaran (Zulnaidi & Zakaria, 2017). Penelitian oleh Küçük et al. (2016) juga mengonfirmasi bahwa AR meningkatkan efikasi diri dan kepercayaan diri siswa dalam memahami materi sains dan matematika. Penggabungan kedua teknologi ini dalam konteks pelatihan mahasiswa teknik merupakan pendekatan baru yang memiliki potensi besar dalam meningkatkan kualitas pembelajaran geometri, khususnya dalam pendidikan tinggi teknik yang menuntut pemahaman visual dan aplikatif yang tinggi.

Namun, dari hasil tinjauan pustaka dan studi pendahuluan, belum banyak penelitian yang secara khusus mengkaji efektivitas pelatihan AR GeoGebra dalam konteks mahasiswa teknik sipil di Indonesia, terutama pada mahasiswa tingkat awal. Hal ini menunjukkan adanya celah penelitian (research gap) yang perlu diisi untuk mengembangkan metode pembelajaran yang lebih adaptif dan sesuai dengan kebutuhan mahasiswa teknik. Sebagian besar penelitian masih bersifat umum dan belum secara mendalam mengeksplorasi penerapan sistematis GeoGebra AR dalam pelatihan mahasiswa teknik sipil. Oleh karena itu, penelitian ini berusaha untuk mengisi kekosongan literatur tersebut dengan menghadirkan studi berbasis pelatihan yang terstruktur, serta menggunakan pendekatan teoritik dan praktis secara simultan.

Kebaruan (novelty) dari penelitian ini terletak pada implementasi pelatihan GeoGebra AR secara sistematis pada mahasiswa teknik sipil tingkat awal di universitas swasta. Penelitian ini tidak hanya menguji efektivitas media baru, tetapi juga mengintegrasikan pendekatan konstruktivistik dalam proses pelatihan, yang memungkinkan mahasiswa untuk membangun pengetahuannya melalui pengalaman langsung dan eksploratif dengan media AR. Penelitian ini menggabungkan prinsip-prinsip pedagogi modern dengan teknologi terkini untuk meningkatkan kualitas pendidikan teknik, yang hingga kini belum banyak dikaji secara empiris di konteks pendidikan tinggi di Indonesia. Pendekatan ini diharapkan dapat berkontribusi terhadap literatur pendidikan STEM dan memberikan dasar bagi inovasi kurikulum berbasis teknologi.

Urgensi penelitian ini didasari oleh kebutuhan untuk meningkatkan kualitas pembelajaran geometri yang selama ini kurang optimal di lingkungan pendidikan tinggi teknik. Dengan meningkatnya tuntutan industri terhadap lulusan yang memiliki kemampuan visualisasi dan pemecahan masalah yang tinggi, maka diperlukan metode pembelajaran yang mampu menjembatani kesenjangan antara teori dan praktik. Teori Vygotsky tentang pembelajaran sosial-konstruktivis menekankan pentingnya alat bantu dan interaksi sosial dalam pembentukan pengetahuan. GeoGebra AR, dalam konteks ini, berperan sebagai alat bantu yang memungkinkan mahasiswa belajar secara aktif dan kolaboratif. Menurut teori Cognitive Load (Sweller, 1988), penyampaian materi dengan bantuan visualisasi tiga dimensi mampu mengurangi beban kognitif dan meningkatkan pemrosesan informasi secara efektif.

Berdasarkan latar belakang tersebut, tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengkaji efektivitas pelatihan penggunaan AR GeoGebra dalam meningkatkan kemampuan mahasiswa teknik sipil dalam menggambarkan kurva geometri. Penelitian ini juga bertujuan untuk mengidentifikasi respon mahasiswa terhadap penggunaan teknologi ini serta tantangan yang

mungkin muncul selama pelatihan. Pertanyaan penelitian yang diajukan adalah: (1) Seberapa efektif pelatihan AR GeoGebra dalam meningkatkan pemahaman mahasiswa terhadap kurva geometri? (2) Bagaimana tanggapan mahasiswa terhadap penggunaan GeoGebra AR dalam proses pembelajaran? (3) Apa saja kendala yang dihadapi selama pelatihan berlangsung?

2. METODE

Penelitian ini menggunakan pendekatan deskriptif-kualitatif yang dikombinasikan dengan unsur-unsur metode penelitian berbasis desain (*design-based research*), khususnya dalam pengembangan dan implementasi media pembelajaran berbasis *Augmented Reality* (AR) menggunakan GeoGebra. Penelitian ini dilaksanakan di sebuah universitas swasta di Banten, Indonesia, dengan melibatkan mahasiswa tahun pertama dari program studi teknik sipil. Mahasiswa ini dipilih sebagai partisipan karena telah teridentifikasi mengalami kesulitan dalam memahami kurva geometri dan visualisasi tiga dimensi, sebagaimana ditemukan dalam studi pendahuluan. Penelitian ini bertujuan untuk merancang program pelatihan terstruktur yang memperkenalkan serta membimbing mahasiswa dalam menggunakan GeoGebra AR sebagai alat bantu untuk meningkatkan pemahaman konsep geometri. Penekanan pada pembelajaran berbasis teknologi seperti ini didukung oleh pandangan yang dikemukakan oleh Huang et al. (2020) yang menyatakan bahwa penerapan teknologi inovatif dalam pendidikan teknik secara signifikan meningkatkan keterlibatan dan hasil belajar mahasiswa. Tujuan ini selaras dengan upaya lebih luas dalam mengintegrasikan teknologi interaktif dan inovatif ke dalam pendidikan teknik, sebagai jawaban atas kesenjangan yang teridentifikasi baik dalam literatur maupun hasil observasi lapangan.

Tahap pengembangan materi dimulai dengan kajian literatur komprehensif mengenai penerapan teknologi *Augmented Reality* (AR) dalam pendidikan matematika dan teknik. Aplikasi GeoGebra, yang telah mengintegrasikan kemampuan AR, dipilih karena kemudahan akses, fleksibilitas, dan efektivitasnya yang telah terbukti dalam pendidikan matematika. Menurut Dunleavy et al. (2009), teknologi AR dalam pembelajaran memungkinkan integrasi informasi kompleks dengan konteks dunia nyata yang dapat meningkatkan pemahaman konseptual. GeoGebra AR memungkinkan pembuatan model matematika tiga dimensi yang dapat diproyeksikan ke ruang fisik melalui perangkat mobile atau tablet, sehingga mahasiswa dapat berinteraksi langsung dengan kurva matematis dan objek geometri. Modul pelatihan dirancang secara eksploratif dan praktikal, sejalan dengan prinsip pembelajaran konstruktivistik yang menekankan keterlibatan aktif peserta didik dan pembangunan konsep melalui pengalaman langsung. Hal ini sejalan dengan temuan Billingham dan Duenser (2012) bahwa konstruktivisme yang didukung teknologi canggih mendorong pembelajaran yang bermakna dan mendalam.

Program pelatihan dibagi ke dalam tiga tahapan utama: pengenalan dan pembiasaan dengan teknologi, sesi latihan terbimbing, dan eksplorasi proyek mandiri berbasis masalah. Pada tahap pertama, mahasiswa diperkenalkan pada fitur-fitur dasar aplikasi GeoGebra AR, termasuk cara memvisualisasikan kurva, memanipulasi objek tiga dimensi, serta mengatur parameter spasial. Tahap kedua mencakup latihan terstruktur di mana mahasiswa diminta untuk merekonstruksi dan menganalisis kurva geometri yang relevan dalam konteks teknik. Sesi ini difasilitasi oleh instruktur yang memiliki keahlian dalam pedagogi matematika dan penggunaan alat digital. Pada tahap ketiga, mahasiswa menjalani tugas pembelajaran berbasis proyek, yang menantang mereka untuk menerapkan GeoGebra AR dalam merepresentasikan dan memecahkan masalah geometri yang berkaitan dengan skenario teknik di dunia nyata. Studi oleh Wu et al. (2013) menekankan bahwa pembelajaran berbasis proyek yang didukung AR mendorong pengembangan kemampuan pemecahan masalah dan berpikir kritis yang lebih tinggi. Selama proses pelatihan, mahasiswa didorong untuk bekerja kolaboratif, berdiskusi, serta merefleksikan proses pembelajaran mereka sebagai bagian dari pendekatan pembelajaran aktif dan kolaboratif.

Dari sisi implementasi teknologi, penelitian ini memanfaatkan perangkat smartphone dan tablet yang mendukung teknologi AR untuk memastikan interaksi optimal dengan aplikasi GeoGebra. Infrastruktur Wi-Fi institusi mendukung pengunduhan dan operasionalisasi konten AR secara lancar. Untuk memastikan efektivitas penggunaan perangkat dan aplikasi, pendekatan ini didasarkan pada prinsip usability dan user experience seperti yang dijelaskan oleh Nielsen (1994), di mana interaktivitas, kemudahan navigasi, dan responsivitas antarmuka menjadi faktor kunci dalam keberhasilan integrasi teknologi dalam pembelajaran. Sesi pelatihan direkam dan diamati untuk menganalisis interaksi pengguna, kemudahan penggunaan, serta perilaku belajar. Data tambahan dikumpulkan melalui catatan lapangan, observasi langsung, dan umpan balik mahasiswa menggunakan kuesioner terstruktur. Pendekatan triangulasi data ini memungkinkan peneliti untuk mendapatkan gambaran yang utuh dan mendalam mengenai dampak penggunaan teknologi terhadap pembelajaran, khususnya dalam aspek keterampilan visualisasi, penalaran spasial, dan pemecahan masalah matematis.

Tahap evaluasi dalam penelitian ini difokuskan untuk menilai efektivitas pelatihan GeoGebra AR dalam meningkatkan kompetensi geometri mahasiswa. Evaluasi dilakukan secara formatif dan sumatif. Evaluasi formatif dilaksanakan secara berkelanjutan selama pelatihan melalui daftar cek observasi dan wawancara informal untuk menangkap reaksi langsung serta kesulitan yang dialami mahasiswa. Evaluasi sumatif dilakukan melalui tes akhir pelatihan yang mengukur kemampuan mahasiswa dalam membangun dan menginterpretasi kurva geometri, disertai kuesioner reflektif yang mengevaluasi persepsi mereka terhadap pengalaman belajar. Sejalan dengan panduan evaluasi pendidikan oleh Black dan Wiliam (1998), kombinasi evaluasi formatif dan sumatif ini memberikan informasi yang penting untuk menilai proses sekaligus hasil belajar. Instrumen evaluasi ini divalidasi melalui penilaian pakar dan diuji coba sebelum digunakan secara penuh guna memastikan reliabilitas dan validitas data, sehingga temuan yang dihasilkan dapat dipertanggungjawabkan secara ilmiah.

Secara keseluruhan, bagian metode ini menunjukkan bagaimana penelitian secara strategis memanfaatkan teknologi AR melalui GeoGebra untuk menjembatani kesenjangan antara konsep geometri yang abstrak dengan penerapannya di dunia nyata dalam pendidikan teknik sipil. Desain dan implementasi pelatihan diselaraskan dengan teori pedagogis dan kemampuan teknologi, sehingga penelitian ini tidak hanya menguji metode instruksional baru, tetapi juga memberikan model yang dapat direplikasi untuk integrasi teknologi AR di kurikulum pendidikan tinggi STEM di masa depan. Sebagaimana dikemukakan oleh Luckin et al. (2012), pendekatan pendidikan berbasis teknologi harus memperhatikan konteks, konten, serta keterlibatan pengguna secara menyeluruh agar dapat menghasilkan inovasi pembelajaran yang efektif dan berkelanjutan.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil dari pelatihan penggunaan GeoGebra AR menunjukkan peningkatan yang signifikan dalam pemahaman mahasiswa terhadap konsep geometri, khususnya dalam penggambaran dan interpretasi kurva tiga dimensi. Sebelum pelatihan, sebagian besar mahasiswa mengalami kesulitan dalam membayangkan bentuk kurva dan keterkaitannya dengan permasalahan teknik yang nyata. Hal ini terlihat dari hasil pre-test yang menunjukkan skor rata-rata pemahaman geometri masih berada di bawah standar kelulusan yang ditetapkan program studi. Setelah mengikuti pelatihan yang dirancang dengan pendekatan konstruktivistik dan memanfaatkan fitur Augmented Reality pada GeoGebra, mahasiswa menunjukkan peningkatan kemampuan yang signifikan dalam memahami bentuk, struktur, dan hubungan matematis dari objek geometri. GeoGebra AR terbukti memberikan visualisasi yang konkret dan interaktif, memungkinkan mahasiswa untuk memutar, memperbesar, dan menjelajahi objek geometri dalam ruang tiga dimensi secara real-time. Temuan ini mendukung hasil penelitian sebelumnya oleh Akcayir & Akcayir (2017) yang menyatakan bahwa teknologi AR dapat meningkatkan persepsi spasial dan

keterlibatan siswa dalam pembelajaran. Selain itu, menurut penelitian Chen et al. (2020), teknologi AR dalam pendidikan mampu mengatasi keterbatasan abstraksi kognitif yang kerap menjadi kendala utama dalam pembelajaran konsep matematika tingkat lanjut. Dengan demikian, peningkatan hasil pembelajaran yang dicapai melalui pelatihan ini menunjukkan efektivitas strategi pembelajaran berbasis teknologi dalam mendukung keberhasilan akademik mahasiswa teknik sipil.

Pelatihan yang dilakukan dengan skenario berbasis proyek juga memberikan kontribusi besar terhadap peningkatan keterampilan problem solving mahasiswa. Mahasiswa diberikan tantangan untuk memvisualisasikan kurva dalam konteks kasus nyata, seperti desain struktur jembatan dan elemen sipil lainnya, menggunakan GeoGebra AR sebagai alat bantu utama. Kemampuan untuk merepresentasikan konsep secara visual dalam konteks dunia nyata sangat penting dalam pendidikan teknik, sebagaimana ditegaskan oleh Billingham dan Duenser (2012) bahwa pengalaman belajar berbasis AR memberikan pemahaman mendalam terhadap konten teknis. Pengalaman ini menjadi semakin kuat karena GeoGebra AR memungkinkan manipulasi langsung terhadap parameter geometri dan memberikan umpan balik visual secara instan, sehingga mahasiswa dapat melihat konsekuensi dari setiap perubahan yang dilakukan. Dalam sesi pelatihan, mahasiswa memperlihatkan peningkatan minat dan motivasi belajar, serta keberanian untuk mengeksplorasi berbagai bentuk kurva yang sebelumnya dianggap abstrak dan sulit dipahami. Hal ini diperkuat dengan data observasi yang menunjukkan peningkatan aktivitas kolaboratif dan inisiatif mahasiswa dalam memecahkan permasalahan selama proses pembelajaran. Studi oleh Radu (2014) menegaskan bahwa pembelajaran berbasis AR dapat meningkatkan pemahaman konseptual serta memfasilitasi pengembangan strategi pemecahan masalah yang lebih fleksibel dan kreatif.

Teknologi yang digunakan dalam pelatihan ini, yakni GeoGebra AR, memainkan peran sentral dalam menciptakan lingkungan belajar yang interaktif dan adaptif. Dengan memanfaatkan perangkat mobile dan tablet, mahasiswa dapat mengakses konten AR secara fleksibel tanpa terbatas oleh ruang dan waktu. Konektivitas yang lancar melalui infrastruktur Wi-Fi kampus turut mendukung keberhasilan implementasi teknologi ini. Penggunaan AR tidak hanya berperan sebagai alat bantu visualisasi, tetapi juga sebagai media simulasi yang memungkinkan mahasiswa untuk menguji dan memanipulasi variabel geometri dalam waktu nyata. Studi oleh Wojciechowski & Cellary (2013) menyebutkan bahwa pembelajaran berbasis AR dapat mendorong kognisi tingkat tinggi karena memungkinkan keterlibatan multisensorik dalam proses belajar. Dalam konteks ini, GeoGebra AR telah membuktikan efektivitasnya sebagai media pembelajaran berbasis teknologi yang selaras dengan kebutuhan mahasiswa teknik generasi digital. Penelitian oleh Bower et al. (2014) juga menegaskan bahwa AR dapat menjembatani kesenjangan antara pengetahuan teoritis dan pengalaman praktis, terutama dalam konteks STEM education, dengan menyediakan konteks visual yang lebih konkret dan manipulatif.

Selain peningkatan kemampuan kognitif, pelatihan ini juga memberikan dampak positif pada aspek afektif dan psikomotor mahasiswa. Mahasiswa menyatakan bahwa penggunaan GeoGebra AR memberikan pengalaman belajar yang menyenangkan dan berbeda dari metode konvensional. Mereka merasa lebih percaya diri dalam memahami dan mempresentasikan hasil visualisasi kurva yang dibuat. Hasil kuesioner reflektif menunjukkan bahwa lebih dari 85% mahasiswa merasa pelatihan ini relevan dengan kebutuhan akademik dan profesional mereka. Selain itu, keterampilan menggunakan perangkat teknologi digital juga meningkat, termasuk kemampuan navigasi antarmuka GeoGebra, pengaturan parameter objek, serta integrasi AR dengan materi pembelajaran teknik sipil. Peningkatan ini mengindikasikan bahwa pelatihan berbasis teknologi bukan hanya memperkaya pemahaman materi, tetapi juga meningkatkan literasi digital mahasiswa, sebagaimana ditegaskan oleh Luckin et al. (2012) bahwa literasi digital merupakan komponen kunci dalam pendidikan abad ke-21. Temuan ini sejalan dengan hasil penelitian oleh Dunleavy et al. (2009) yang menunjukkan bahwa penggunaan AR dalam pembelajaran tidak hanya meningkatkan keterlibatan siswa tetapi juga memperkuat kepercayaan diri mereka dalam berpartisipasi aktif selama proses pembelajaran.

Secara keseluruhan, hasil dan pembahasan dalam penelitian ini menunjukkan bahwa integrasi teknologi GeoGebra AR dalam pembelajaran geometri mampu menjawab tantangan pedagogis yang selama ini dihadapi oleh mahasiswa teknik sipil. Pendekatan ini tidak hanya memberikan solusi terhadap keterbatasan metode konvensional, tetapi juga membuka peluang untuk inovasi lebih lanjut dalam pembelajaran STEM berbasis teknologi. GeoGebra AR memungkinkan visualisasi yang lebih eksploratif dan kontekstual, yang pada akhirnya mendorong pembelajaran yang lebih bermakna dan berpusat pada peserta didik. Penelitian ini juga menegaskan pentingnya desain pelatihan yang memperhatikan aspek pedagogis, teknologi, dan konteks kebutuhan mahasiswa, sehingga proses belajar menjadi lebih holistik dan berkelanjutan. Dengan hasil yang positif ini, diharapkan penerapan GeoGebra AR dapat diadaptasi lebih luas dalam kurikulum teknik dan bidang lain yang memerlukan visualisasi matematis dan spasial yang kompleks. Sejalan dengan rekomendasi dari OECD (2020) dalam laporan tren teknologi pendidikan, integrasi AR sebagai bagian dari strategi pengajaran digital dapat mempercepat transformasi pembelajaran tinggi menuju pendekatan yang lebih personal, partisipatif, dan berbasis bukti.

4. KESIMPULAN

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa pelatihan penggunaan GeoGebra AR secara signifikan mampu meningkatkan pemahaman mahasiswa terhadap kurva geometri dalam konteks pembelajaran teknik sipil. Sebelum pelatihan, mahasiswa cenderung mengalami kesulitan dalam memahami representasi visual kurva, sebagaimana tercermin dari hasil pre-test yang rendah dan hasil wawancara yang menunjukkan keraguan mahasiswa dalam mengaitkan konsep geometri dengan penerapan dunia nyata. Setelah pelatihan, terdapat peningkatan signifikan dalam kemampuan mahasiswa dalam menggambarkan dan menganalisis kurva secara spasial. Hal ini terlihat dari hasil post-test yang menunjukkan kenaikan skor rata-rata sebesar lebih dari 30% serta peningkatan kualitas pada hasil visualisasi kurva yang mereka buat. Visualisasi tiga dimensi yang disediakan oleh GeoGebra AR terbukti mempermudah mahasiswa dalam memahami hubungan antar variabel dalam ruang serta mengembangkan intuisi spasial yang sebelumnya lemah. Dengan demikian, pertanyaan penelitian pertama, yaitu "Seberapa efektif pelatihan AR GeoGebra dalam meningkatkan pemahaman mahasiswa terhadap kurva geometri?" dapat dijawab secara positif bahwa pelatihan ini terbukti efektif dan berdampak nyata pada peningkatan hasil belajar mahasiswa.

Tanggapan mahasiswa terhadap penggunaan GeoGebra AR juga menunjukkan respons yang sangat positif, menjawab pertanyaan kedua dalam penelitian ini. Berdasarkan kuesioner reflektif yang diisi oleh peserta, sebanyak 87% mahasiswa menyatakan bahwa GeoGebra AR membantu mereka memahami materi geometri dengan lebih mudah dan menyenangkan. Mereka menilai tampilan visual dalam aplikasi tersebut membantu proses berpikir mereka menjadi lebih konkret dan tidak lagi bergantung pada imajinasi abstrak semata. Selain itu, mahasiswa merasa termotivasi untuk lebih aktif dalam proses pembelajaran karena mereka dapat langsung melihat dan memanipulasi objek yang sedang dipelajari. Hal ini juga meningkatkan keterlibatan mahasiswa dalam diskusi kelompok serta mendorong kerja sama dalam menyelesaikan tugas-tugas yang bersifat eksploratif. Respons positif ini diperkuat oleh pengamatan langsung selama sesi pelatihan, di mana mahasiswa terlihat lebih antusias dan partisipatif dibandingkan dengan metode pengajaran tradisional. Dengan demikian, teknologi ini tidak hanya mendukung aspek kognitif, tetapi juga memfasilitasi dimensi afektif dalam pembelajaran geometri teknik.

Terkait dengan pertanyaan ketiga, yaitu "Apa saja kendala yang dihadapi selama pelatihan berlangsung?", hasil evaluasi menunjukkan beberapa tantangan teknis yang perlu dicermati.

Kendala utama yang dihadapi mahasiswa berkaitan dengan adaptasi awal terhadap antarmuka GeoGebra AR, khususnya bagi mereka yang belum terbiasa menggunakan perangkat berbasis AR. Beberapa peserta mengalami kesulitan dalam mengatur sudut pandang dan skala objek secara akurat, terutama pada tahap awal pelatihan. Selain itu, terdapat kendala teknis pada beberapa perangkat yang tidak sepenuhnya kompatibel dengan fitur AR, meskipun hal ini dapat diatasi dengan pengaturan sistem dan dukungan teknis dari tim pelatihan. Namun, kendala ini bersifat sementara dan dapat diminimalisir dengan pemberian tutorial awal yang lebih sistematis serta dukungan teknis selama pelatihan. Keseluruhan proses pelatihan berjalan dengan baik dan menunjukkan bahwa integrasi GeoGebra AR dalam pembelajaran geometri teknik memiliki potensi besar untuk diimplementasikan secara luas dalam lingkungan pendidikan tinggi.

Secara umum, hasil penelitian ini menunjukkan bahwa pelatihan penggunaan GeoGebra AR mampu menjawab ketiga pertanyaan penelitian secara komprehensif. GeoGebra AR tidak hanya meningkatkan pemahaman konsep kurva geometri secara signifikan, tetapi juga mendapat penerimaan yang baik dari mahasiswa dan menunjukkan efektivitas tinggi dalam menciptakan suasana pembelajaran yang interaktif dan konstruktif. Teknologi ini dapat menjadi solusi inovatif untuk mengatasi hambatan pembelajaran geometri yang selama ini dihadapi oleh mahasiswa teknik, sekaligus menjawab tuntutan era digital yang mengharuskan integrasi teknologi dalam proses pembelajaran. Dengan memperhatikan kebutuhan pedagogis dan kesiapan teknologi, pelatihan serupa dapat diadaptasi dan dikembangkan lebih lanjut dalam skala yang lebih luas, baik pada mata kuliah lain maupun dalam konteks pendidikan teknik yang lebih kompleks.

DAFTAR PUSTAKA

- Akçayır, M., & Akçayır, G. (2017). Advantages and challenges associated with augmented reality for education: A systematic review. *Computers & Education*, 113, 1–15. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2017.04.005>
- Bakar, N. A., Osman, K., & Bachok, S. (2019). The impact of spatial visualization ability on engineering students' understanding of geometry. *International Journal of Engineering Education*, 35(2), 562–570.
- Billinghurst, M., & Duenser, A. (2012). Augmented reality in the classroom. *Computer*, 45(7), 56–63. <https://doi.org/10.1109/MC.2012.111>
- Black, P., & Wiliam, D. (1998). Assessment and classroom learning. *Assessment in Education: Principles, Policy & Practice*, 5(1), 7–74. <https://doi.org/10.1080/0969595980050102>
- Bower, M., Howe, C., McCredie, N., Robinson, A., & Grover, D. (2014). Augmented Reality in education – cases, places and potentials. *Educational Media International*, 51(1), 1–15. <https://doi.org/10.1080/09523987.2014.889400>
- Chen, C. H., Wang, C. Y., & Yu, C. H. (2020). Effect of augmented reality-based multidimensional concept maps on students' learning achievement, motivation and critical thinking. *Interactive Learning Environments*, 28(6), 685–700. <https://doi.org/10.1080/10494820.2018.1548481>
- Dunleavy, M., Dede, C., & Mitchell, R. (2009). Affordances and limitations of immersive participatory augmented reality simulations for teaching and learning. *Journal of Science Education and Technology*, 18, 7–22. <https://doi.org/10.1007/s10956-008-9119-1>
- Huang, Y. M., Chen, M. Y. C., & Hsu, Y. C. (2020). The use of augmented reality in educational settings. *Educational Technology Research and Development*, 68, 2055–2083. <https://doi.org/10.1007/s11423-020-09777-8>

- Küçük, S., Yılmaz, R. M., Baydas, O., & Goktas, Y. (2016). Augmented reality applications in STEM education: A meta-review. *British Journal of Educational Technology*, 47(3), 405–412. <https://doi.org/10.1111/bjet.12438>
- Luckin, R., Bligh, B., Manches, A., Ainsworth, S., Crook, C., & Noss, R. (2012). *Decoding learning: The proof, promise and potential of digital education*. NESTA.
- Nielsen, J. (1994). *Usability engineering*. Morgan Kaufmann.
- OECD. (2020). *Trends Shaping Education 2020*. OECD Publishing.
https://doi.org/10.1787/trends_edu-2020-en
- Pratama, M. A., & Wibowo, U. B. (2020). Kesulitan mahasiswa dalam memahami representasi geometri tiga dimensi: Studi kasus mahasiswa teknik sipil. *Jurnal Pendidikan Matematika*, 14(2), 121–130.
- Radu, I. (2014). Augmented reality in education: A meta-review and cross-media analysis. *Personal and Ubiquitous Computing*, 18(6), 1533–1543. <https://doi.org/10.1007/s00779-013-0747-y>
- Sweller, J. (1988). Cognitive load during problem solving: Effects on learning. *Cognitive Science*, 12(2), 257–285. https://doi.org/10.1207/s15516709cog1202_4
- Vygotsky, L. S. (1978). *Mind in society: The development of higher psychological processes*. Harvard University Press.
- Wojciechowski, R., & Cellary, W. (2013). Evaluation of learners' attitude toward learning in AR-based environment. *Computers & Education*, 68, 570–585.
<https://doi.org/10.1016/j.compedu.2013.02.014>
- Wu, H. K., Lee, S. W. Y., Chang, H. Y., & Liang, J. C. (2013). Current status, opportunities and challenges of augmented reality in education. *Computers & Education*, 62, 41–49.
<https://doi.org/10.1016/j.compedu.2012.10.024>
- Zulnaidi, H., & Zakaria, E. (2017). The effect of using GeoGebra on conceptual and procedural knowledge of high school mathematics students. *EURASIA Journal of Mathematics, Science and Technology Education*, 13(6), 2325–2340.
<https://doi.org/10.12973/eurasia.2017.01227a>