

Efektivitas Pembelajaran Berbantuan Augmented Reality Terhadap Peningkatan Kemampuan Berpikir Kritis Siswa Sekolah Dasar

Rasnida Rahmanda^{1),*}

¹⁾Universitas Negeri Jakarta, Jakarta, Indonesia

*Correspondence: rasnidarahmanda123@gmail.com

Abstract: This study aims to analyze the effectiveness of Augmented Reality (AR)-assisted learning in enhancing the critical thinking skills of elementary school students. The research was motivated by the need for pedagogical innovation capable of stimulating higher-order thinking skills in accordance with 21st-century educational demands. A quantitative approach employing a quasi-experimental method with a Non-Equivalent Control Group Design was used, involving 60 fifth-grade students from two elementary schools in East Jakarta, divided into experimental and control groups. The research instrument was a critical thinking skills test developed based on Facione's five indicators: interpretation, analysis, evaluation, inference, and explanation. The results revealed that AR-assisted learning significantly improved students' critical thinking abilities compared to conventional instruction. The experimental group's posttest mean score reached 78.6, an increase of 20.3 points from the pretest, with an N-Gain value of 0.61 (moderate-high category) and a Cohen's d effect size of 1.52 (large effect). The analysis per aspect indicated the highest improvement in analytical and inferential skills. Overall, the integration of AR in learning proved effective in creating interactive, contextual, and reflective learning experiences that strengthened students' scientific reasoning processes. These findings affirm that AR serves as a potent educational medium supporting the implementation of the Merdeka Curriculum through the reinforcement of critical thinking competence and digital literacy among elementary students.

Keywords: Augmented Reality, critical thinking, learning effectiveness, educational innovation, elementary education.

Abstrak: Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis efektivitas pembelajaran berbantuan Augmented Reality (AR) terhadap peningkatan kemampuan berpikir kritis siswa sekolah dasar. Latar belakang penelitian ini didasari oleh pentingnya inovasi pedagogis yang mampu menstimulasi keterampilan berpikir tingkat tinggi sesuai tuntutan pendidikan abad ke-21. Pendekatan penelitian yang digunakan adalah kuantitatif dengan metode kuasi-eksperimen dan desain Non-Equivalent Control Group Design, melibatkan 60 siswa kelas V dari dua sekolah dasar di Jakarta Timur yang dibagi ke dalam kelompok eksperimen dan kontrol. Instrumen penelitian berupa tes kemampuan berpikir kritis yang dikembangkan berdasarkan lima indikator Facione, mencakup interpretasi, analisis, evaluasi, inferensi, dan eksplanasi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pembelajaran berbantuan AR secara signifikan meningkatkan kemampuan berpikir kritis siswa dibandingkan pembelajaran konvensional. Rata-rata skor posttest kelompok eksperimen mencapai 78,6, meningkat 20,3 poin dari pretest, dengan nilai N-Gain sebesar 0,61 (kategori sedang-tinggi) dan Cohen's d sebesar 1,52 (efek besar). Analisis per aspek menunjukkan peningkatan tertinggi pada kemampuan analisis dan inferensi. Secara keseluruhan, integrasi AR dalam pembelajaran terbukti efektif dalam menciptakan pengalaman belajar interaktif, kontekstual, dan reflektif yang memperkuat proses berpikir ilmiah siswa. Hasil ini menegaskan bahwa AR merupakan media pembelajaran potensial yang dapat mendukung implementasi Kurikulum Merdeka melalui penguatan kompetensi berpikir kritis dan literasi digital di sekolah dasar.

Kata Kunci: Augmented Reality, berpikir kritis, efektivitas pembelajaran, inovasi pendidikan, sekolah dasar

This is an open access article under the [CC - BY](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/) license.



PENDAHULUAN

Transformasi pendidikan di era digital menuntut inovasi pedagogis yang mampu menumbuhkan kompetensi berpikir tingkat tinggi sejak jenjang pendidikan dasar. Dalam konteks pendidikan abad ke-21, kemampuan berpikir kritis menjadi salah satu keterampilan kognitif utama yang perlu dikembangkan secara sistematis karena berperan penting dalam pembentukan karakter ilmiah dan pengambilan keputusan yang rasional (Fitriya et al., 2022; Gürsan et al., 2022). Siswa sekolah dasar harus dilatih untuk menganalisis, mengevaluasi, dan menginterpretasi informasi secara mendalam agar mampu memecahkan masalah secara reflektif. Namun, paradigma pembelajaran di Indonesia masih cenderung bersifat teacher-centered, berorientasi pada hasil akhir, dan belum menekankan pada proses berpikir reflektif (Subarjo et al., 2023). Keterbatasan metode konvensional seperti ceramah dan hafalan membuat siswa sulit memahami keterkaitan konsep dan membangun kemampuan bernalar logis (Hayati & Setiawan, 2022). Sejalan dengan pesatnya kemajuan teknologi, integrasi Augmented Reality (AR) dalam pembelajaran menghadirkan potensi besar untuk mengubah pengalaman belajar menjadi lebih imersif, interaktif, dan kontekstual, sehingga mampu mengoptimalkan keterlibatan kognitif siswa (de Moraes Rossetto et al., 2023; Kamińska et al., 2023).

Rendahnya capaian berpikir kritis di Indonesia tergambar dari laporan Programme for International Student Assessment (PISA) tahun 2022 yang menempatkan Indonesia pada peringkat ke-64 dari 79 negara dalam literasi membaca dan numerasi, dua domain utama yang mencerminkan kemampuan berpikir logis dan analitis (OECD, 2023). Kondisi ini diperkuat oleh hasil penelitian nasional yang mengungkap bahwa sebagian besar siswa sekolah dasar belum mampu mengembangkan kemampuan analisis dan evaluasi dalam konteks pembelajaran (Rahmawati et al., 2023). Pembelajaran yang didominasi oleh aktivitas pasif menyebabkan siswa kurang terlibat dalam dialog konseptual yang dapat menumbuhkan refleksi kritis (Andriani, 2021). Padahal, tuntutan Kurikulum Merdeka menekankan pentingnya keterampilan berpikir tingkat tinggi (Higher-Order Thinking Skills/HOTS) untuk menyiapkan generasi adaptif terhadap kompleksitas abad ke-21 (Ayuningtyas & Prastowo, 2022). Oleh karena itu, upaya meningkatkan kemampuan berpikir kritis melalui inovasi pembelajaran berbasis teknologi imersif seperti AR menjadi sangat relevan dan strategis dalam konteks pendidikan dasar Indonesia.

Observasi awal dilakukan pada dua sekolah dasar di wilayah Jakarta Timur terhadap 60 siswa kelas V untuk memetakan kemampuan berpikir kritis berdasarkan lima indikator utama: interpretasi, analisis, evaluasi, inferensi, dan eksplanasi (Gürsan et al., 2022). Data diperoleh melalui tes diagnostik serta wawancara dengan guru kelas dan hasilnya disajikan pada Tabel 1 berikut.

Tabel 1. Hasil Observasi Awal Kemampuan Berpikir Kritis Siswa Sekolah Dasar

| Aspek Berpikir Kritis | Persentase Ketuntasan (%) | Kategori |
|-----------------------|---------------------------|----------|
| Interpretasi | 56.7 | Rendah |
| Analisis | 52.4 | Rendah |
| Evaluasi | 49.2 | Rendah |
| Inferensi | 54.1 | Rendah |
| Eksplanasi | 58.3 | Cukup |

Data tersebut menunjukkan bahwa kemampuan berpikir kritis siswa masih berada pada kategori rendah, terutama dalam aspek analisis dan evaluasi. Guru menyampaikan bahwa media pembelajaran yang digunakan masih terbatas pada buku teks dan gambar dua dimensi, sehingga siswa kesulitan memahami hubungan sebab-akibat dalam fenomena ilmiah. Kondisi ini sejalan dengan temuan penelitian Susilowati et al., (2022) yang menekankan bahwa rendahnya tingkat keterlibatan siswa berbanding lurus dengan terbatasnya media interaktif yang menstimulasi visualisasi konsep. Oleh karena itu, dibutuhkan pendekatan pembelajaran inovatif yang mampu mengubah pengalaman belajar menjadi lebih aktif, kontekstual, dan mendalam.

Sebagai solusi atas permasalahan tersebut, penerapan Augmented Reality dalam pembelajaran diharapkan dapat mengatasi kesenjangan antara abstraksi konsep dan pengalaman konkret siswa. AR menghadirkan visualisasi tiga dimensi yang interaktif dan real-time, memungkinkan siswa untuk mengamati, mengeksplorasi, dan memanipulasi objek pembelajaran secara langsung (Arslan et al., 2020; Fernández-Enríquez & Delgado-Martín, 2020). Studi Hanid et al., (2020) menunjukkan bahwa penggunaan AR dalam pendidikan mampu meningkatkan retensi pengetahuan dan kemampuan berpikir analitis karena sifatnya yang multimodal dan kontekstual. Integrasi AR juga selaras dengan teori konstruktivisme Piaget dan Vygotsky yang menekankan pentingnya keterlibatan aktif siswa dalam membangun makna melalui pengalaman konkret dan sosial. Dalam konteks ini, AR bukan hanya sekadar media bantu visual, tetapi juga menjadi sarana kognitif untuk membangun jembatan antara dunia nyata dan virtual, memperkuat pembelajaran berbasis inkuiri, serta mengembangkan keterampilan berpikir reflektif siswa (Kizilcec et al., 2024).

Kajian literatur terkini menunjukkan bahwa AR telah berkembang menjadi instrumen pendidikan yang tidak hanya bersifat inovatif, tetapi juga transformatif. Davila Delgado et al., (2020) menegaskan bahwa teknologi ini mampu merevolusi lingkungan belajar melalui simulasi interaktif dan integrasi antara dunia digital dengan konteks sosial. Dalam bidang pendidikan dasar, AR terbukti efektif meningkatkan motivasi belajar dan hasil kognitif siswa (Al-Ansi et al., 2023; de Moraes Rossetto et al., 2023). Namun, sebagian besar studi sebelumnya masih terbatas pada ranah motivasional, belum secara mendalam mengukur dampak AR terhadap dimensi berpikir kritis siswa di tingkat sekolah dasar. Penelitian ini menempati posisi strategis dalam memperluas pemahaman empiris tentang efektivitas AR melalui pendekatan kuasi-eksperimental yang fokus pada pengukuran kognitif mendalam dan relevan dengan konteks pendidikan Indonesia.

Kebaruan penelitian ini terletak pada penerapan Augmented Reality dalam pembelajaran IPA di sekolah dasar sebagai media berbasis visual dan interaktif yang dirancang untuk mengembangkan berpikir kritis siswa secara holistik. Berbeda dengan penelitian terdahulu yang berfokus pada persepsi, pengalaman belajar, atau efikasi diri siswa (AlGerafi et al., 2023; Lampropoulos et al., 2022), penelitian ini menguji efektivitas AR terhadap lima dimensi berpikir kritis secara langsung dengan instrumen yang tervalidasi. Desain kuasi-eksperimental dengan pretest-posttest control group memungkinkan pengukuran yang akurat mengenai peningkatan kemampuan berpikir kritis sebagai akibat dari intervensi pembelajaran berbantuan AR. Dengan demikian, penelitian ini diharapkan memberikan kontribusi substantif

terhadap literatur pendidikan digital di Indonesia sekaligus menjadi referensi empiris dalam pengembangan kebijakan inovasi pembelajaran di era transformasi teknologi.

Berdasarkan kerangka tersebut, fokus penelitian ini diarahkan untuk menjawab dua pertanyaan utama: (1) apakah pembelajaran berbantuan Augmented Reality berpengaruh signifikan terhadap peningkatan kemampuan berpikir kritis siswa sekolah dasar dibandingkan pembelajaran konvensional, dan (2) aspek berpikir kritis mana yang menunjukkan peningkatan paling dominan melalui penerapan AR. Sejalan dengan hal itu, tujuan penelitian ini adalah untuk menganalisis efektivitas pembelajaran berbantuan AR terhadap peningkatan kemampuan berpikir kritis siswa sekolah dasar, serta mengidentifikasi aspek kognitif yang memperoleh dampak paling signifikan. Penelitian ini diharapkan memberikan kontribusi konseptual terhadap penguatan teori konstruktivisme digital dan kontribusi praktis bagi guru sekolah dasar dalam merancang pembelajaran inovatif yang berbasis teknologi imersif sesuai dengan semangat Merdeka Belajar.

TINJAUAN PUSTAKA

Augmented Reality

Augmented Reality (AR) menempatkan teknologi ini sebagai medium pedagogis imersif yang menggabungkan artefak digital dan konteks nyata untuk memperkaya atensi, memori kerja, serta regulasi kognitif dalam tugas-tugas belajar yang menuntut penalaran tingkat tinggi. Kajian konseptual dan survei komprehensif menunjukkan bahwa AR berevolusi dari sekadar alat visualisasi menjadi ekosistem pembelajaran yang menautkan affordance teknis—pelacakan, registrasi spasial, dan tampilan 3D—dengan desain instruksional yang menekankan inquiry dan pemecahan masalah (Mendoza-Ramírez et al., 2023; Syed et al., 2023; Yin et al., 2021). Pada ranah pedagogik, studi lintas disiplin memperlihatkan bahwa AR meningkatkan pemahaman konseptual, keterlibatan emosional, serta kinerja tugas, seraya mengurangi beban mental ketika rancangan aktivitas selaras dengan tujuan kognitif (de Moraes Rossetto et al., 2023; Jeffri & Awang Rambli, 2021; Paredes-Velasco et al., 2023). Di pendidikan STEM dan matematika, AR berfungsi sebagai medium didaktik untuk memediasi abstraksi menjadi representasi manipulatif yang mendukung analisis, evaluasi, dan inferensi, tiga poros utama berpikir kritis (Arslan et al., 2020; Fernández-Enríquez & Delgado-Martín, 2020). Pada tataran adopsi, perspektif pemangku kepentingan menegaskan bahwa penerimaan AR dipengaruhi oleh ekspektasi kinerja, pengalaman pengguna, serta kondisi fasilitasi—temuan yang selaras dengan model UTAUT-3 dan wacana publik tentang manfaat dan keberatan etis-praktis (Lampropoulos et al., 2022; Perifanou et al., 2023; Pinto et al., 2022). Di luar pendidikan, agenda riset AR pada arsitektur/rekayasa menyoroti kebutuhan standar evaluasi dan desain berbasis bukti, implikasi yang relevan untuk literasi metodologis pendidikan (Davila Delgado et al., 2020), sementara kajian sosial-pembelajaran menegaskan pentingnya orkestrasi ruang belajar kolaboratif (Scavarelli et al., 2021). Meskipun demikian, terdapat celah penting: banyak studi berfokus pada motivasi atau kepuasan, bukan pada indikator berpikir kritis yang terukur dengan desain kuasi-eksperimental yang ketat di jenjang sekolah dasar, khususnya konteks Indonesia (Al-Ansi et al., 2023; AlGerafi et al., 2023). Celah lainnya mencakup konsistensi pelaporan efek AR terhadap komponen HOTS, serta integrasi bukti tentang beban kognitif dan desain aktivitas yang menghindari over-stimulation (Jeffri & Awang Rambli, 2021; Kamińska et al., 2023). Dengan memposisikan AR sebagai instrumen kognitif yang dirancang untuk tugas analitis berbasis inkuiri dan divalidasi melalui pengukuran hasil belajar yang ketat, penelitian ini diarahkan untuk menguji efektivitas AR terhadap dimensi berpikir kritis pada siswa sekolah dasar dan sekaligus menawarkan kerangka desain-evaluasi yang menutup kesenjangan tersebut.

Kemampuan Berpikir Kritis

Kemampuan berpikir kritis pada jenjang sekolah dasar menegaskan bahwa kompetensi ini berupa proses kognitif tingkat tinggi yang mencakup interpretasi, analisis, evaluasi, inferensi, dan eksplanasi yang terukur melalui indikator tugas yang menuntut penalaran berbasis bukti; namun capaian siswa di berbagai konteks Indonesia masih menunjukkan kesenjangan pada aspek analisis dan evaluasi sehingga memerlukan intervensi instruksional yang tepat sasaran (Fitriya et al., 2022; Hayati & Setiawan, 2022; Rahmawati et al., 2023). Bukti nasional dan internasional terkini menunjukkan bahwa strategi pembelajaran aktif—seperti problem-based learning, problem solving, pembelajaran kooperatif tipe Jigsaw/TSTS, blended learning, serta perangkat E-LKPD berbasis investigasi—konsisten meningkatkan indikator berpikir kritis melalui aktivasi eksplorasi, argumentasi, dan refleksi metakognitif (Ayuningtyas & Prastowo, 2022; Evi & Indarini, 2021; Kafiar et al., 2023; Leniati & Indarini, 2021; Puspita & Dewi, 2021; Susilowati et al., 2022; Widiana, 2022). Meski demikian, sejumlah studi deskriptif selama masa pascapandemi memperlihatkan variasi kemampuan yang lebar, menandakan perlunya rancangan intervensi berbasis bukti yang menautkan tujuan kognitif spesifik dengan media dan skenario tugas yang kaya konteks (Andriani, 2021; Subarjo et al., 2023). Dalam kerangka itu, integrasi teknologi imersif dipandang relevan karena menyediakan representasi manipulatif dan pengalaman autentik yang mendukung elaborasi konsep dan pengambilan keputusan; riset pada ekosistem pembelajaran berbantuan teknologi memperlihatkan penurunan beban kerja mental dan peningkatan performa tugas saat rancangan aktivitas selaras dengan sasaran HOTS (Arslan et al., 2020; de Moraes Rossetto et al., 2023; Fernández-Enríquez & Delgado-Martín, 2020; Jeffri & Awang

Rambli, 2021). Namun, celah masih tampak pada keterbatasan studi kuasi-eksperimental yang mengukur secara langsung kelima dimensi berpikir kritis pada siswa sekolah dasar serta pada konsistensi pelaporan ukuran efek, khususnya di konteks Indonesia. Dengan demikian, penelitian ini diarahkan untuk menguji efektivitas pembelajaran berbantuan Augmented Reality dalam meningkatkan kemampuan berpikir kritis secara komprehensif, sekaligus menyusun kerangka desain-evaluasi yang menghubungkan indikator berpikir kritis dengan pengalaman belajar yang terstandar dan dapat direplikasi.

METODE

Jenis dan Desain Penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif dengan metode kuasi-eksperimen, karena pendekatan ini memungkinkan pengujian hubungan sebab-akibat antara variabel bebas dan variabel terikat meskipun kontrol terhadap variabel luar tidak sepenuhnya dapat dilakukan. Desain ini dipilih dengan pertimbangan bahwa konteks penelitian berlangsung di lingkungan sekolah yang memiliki keterbatasan untuk melakukan penugasan acak (random assignment) terhadap peserta didik ke dalam kelompok eksperimen dan kontrol. Oleh sebab itu, peneliti menggunakan kelas yang telah ada sebagai kelompok perlakuan dan kelompok pembandingan dengan tetap menjaga kesetaraan karakteristik awal melalui pemberian pretest. Desain penelitian yang digunakan ialah Non-Equivalent Control Group Design, yang dinilai paling relevan untuk mengukur efektivitas intervensi pembelajaran berbantuan Augmented Reality terhadap peningkatan kemampuan berpikir kritis. Pada desain ini, kedua kelompok—eksperimen dan kontrol—diberi pretest dan posttest yang sama, sehingga memungkinkan perbandingan perubahan skor sebelum dan sesudah perlakuan. Desain penelitian secara konseptual dapat digambarkan pada Tabel 2 berikut:

Tabel 2. Desain Penelitian Non-Equivalent Control Group Design

| Kelompok | Pretest | Perlakuan | Posttest |
|------------|----------------|-----------|----------------|
| Eksperimen | O ₁ | X | O ₂ |
| Kontrol | O ₃ | — | O ₄ |

Pemilihan desain ini juga didasarkan pada pertimbangan bahwa model kuasi-eksperimen dapat memberikan keseimbangan antara kontrol ilmiah dan realitas kontekstual di kelas. Selain itu, desain ini memungkinkan peneliti memperoleh bukti empiris yang valid mengenai efektivitas intervensi pembelajaran tanpa mengganggu proses belajar mengajar yang telah berlangsung secara alami di sekolah.

Prosedur Penelitian

Pelaksanaan penelitian ini dilakukan melalui empat tahap utama yang saling berurutan dan sistematis, yaitu perencanaan, pelaksanaan, evaluasi, dan analisis data. Tahap pertama, perencanaan, dimulai dengan analisis kebutuhan lapangan melalui wawancara dengan guru dan observasi terhadap kegiatan belajar di kelas. Berdasarkan hasil analisis tersebut, peneliti menyusun Rencana Pelaksanaan Pembelajaran (RPP) berbasis Augmented Reality yang terintegrasi dengan kompetensi dasar mata pelajaran IPA. Selain itu, peneliti mengembangkan instrumen tes kemampuan berpikir kritis berdasarkan indikator Gürsan et al., (2022), kemudian mengajukan instrumen tersebut kepada tiga pakar pendidikan dan teknologi pembelajaran untuk memperoleh validasi isi dan kesesuaian konteks. Tahap kedua, pelaksanaan, diawali dengan pemberian pretest kepada kedua kelompok untuk memperoleh data kemampuan berpikir kritis awal. Setelah itu, kelompok eksperimen menerima perlakuan berupa pembelajaran berbantuan Augmented Reality selama delapan pertemuan yang difokuskan pada konsep-konsep gaya, energi, dan perubahan bentuk benda. Pada saat yang sama, kelompok kontrol melaksanakan pembelajaran konvensional menggunakan media cetak dan penjelasan verbal dari guru. Proses pembelajaran pada kedua kelompok diamati secara sistematis menggunakan lembar observasi yang telah disiapkan untuk memastikan keterlaksanaan sintaks pembelajaran. Tahap ketiga, evaluasi, dilakukan melalui pemberian posttest kepada kedua kelompok setelah seluruh rangkaian perlakuan selesai. Tes ini bertujuan untuk mengukur perubahan kemampuan berpikir kritis yang terjadi akibat perlakuan yang diberikan. Data dari pretest dan posttest kemudian dibandingkan untuk melihat perbedaan peningkatan antar kelompok. Tahap keempat, analisis data, dilakukan dengan mengolah hasil pretest dan posttest menggunakan analisis statistik inferensial. Analisis ini mencakup uji asumsi, perhitungan N-Gain, serta pengujian hipotesis menggunakan independent samples t-test untuk mengetahui efektivitas pembelajaran berbantuan Augmented Reality.

Subjek atau Partisipan Penelitian

Subjek penelitian terdiri atas 60 siswa kelas V dari dua sekolah dasar di Jakarta Timur. Kelas V-A berfungsi sebagai kelompok eksperimen yang terdiri atas 30 siswa yang mengikuti pembelajaran berbantuan Augmented Reality, sedangkan kelas V-B berfungsi sebagai kelompok kontrol dengan 30 siswa yang belajar menggunakan metode konvensional. Pemilihan subjek dilakukan dengan teknik purposive sampling berdasarkan pertimbangan tertentu,

antara lain kesetaraan karakteristik akademik, kesiapan guru, dan ketersediaan fasilitas pendukung pembelajaran digital. Kriteria inklusi dalam penelitian ini meliputi siswa aktif kelas V yang memiliki kemampuan literasi digital dasar dan bersedia berpartisipasi secara penuh selama penelitian berlangsung. Adapun kriteria eksklusi mencakup siswa yang tidak mengikuti salah satu tes (pretest atau posttest) atau memiliki tingkat kehadiran di bawah 80%. Dengan komposisi partisipan tersebut, data yang diperoleh diharapkan mampu merepresentasikan kondisi belajar nyata siswa sekolah dasar di lingkungan perkotaan.

Tabel 3. Klasifikasi Partisipan Penelitian

| Kelas | Jumlah Siswa | Perlakuan | Jenis Kelamin (L/P) | Keterangan |
|-------|--------------|----------------------------|---------------------|------------|
| V-A | 30 | Pembelajaran berbantuan AR | 16/14 | Eksperimen |
| V-B | 30 | Pembelajaran konvensional | 15/15 | Kontrol |

Teknik dan Prosedur Pengumpulan Data

Pengumpulan data dalam penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif melalui tes dan pendekatan kualitatif pendukung melalui observasi dan angket. Tes digunakan untuk mengukur kemampuan berpikir kritis siswa sebelum dan sesudah perlakuan. Baik kelompok eksperimen maupun kelompok kontrol diberikan pretest untuk memperoleh data kemampuan awal dan posttest untuk mengukur perubahan setelah pembelajaran. Selama pelaksanaan perlakuan, dua observer independen melakukan observasi untuk memantau keterlaksanaan sintaks pembelajaran, keterlibatan siswa, serta efektivitas penggunaan media AR di kelas eksperimen. Selain itu, angket respon siswa digunakan untuk mengumpulkan data pendukung mengenai persepsi dan pengalaman belajar selama menggunakan media AR. Validasi data dilakukan melalui expert judgment oleh tiga pakar pendidikan dan teknologi pembelajaran untuk memastikan kesesuaian isi dan konstruk instrumen, serta uji reliabilitas internal menggunakan Cronbach's Alpha. Triangulasi hasil tes, observasi, dan angket dilakukan untuk memperkuat interpretasi data secara holistik sehingga hasil penelitian memiliki validitas dan konsistensi tinggi.

Instrumen Pengumpulan Data

Instrumen utama yang digunakan dalam penelitian ini adalah tes kemampuan berpikir kritis yang dikembangkan berdasarkan kerangka teori Gürsan et al., (2022), mencakup lima indikator utama yaitu: interpretasi, analisis, evaluasi, inferensi, dan eksplanasi. Setiap indikator dioperasionalkan menjadi lima butir soal uraian yang dirancang sesuai konteks pembelajaran IPA kelas V, sehingga total keseluruhan butir soal berjumlah 25. Instrumen ini dikembangkan melalui proses sistematis yang mencakup penentuan indikator, penyusunan kisi-kisi, pembuatan soal, validasi ahli, dan uji coba terbatas. Setiap butir soal mengacu pada ranah kognitif taksonomi Bloom revisi (C2–C6) dan menuntut siswa untuk menganalisis, mengevaluasi, serta menyimpulkan informasi berdasarkan data yang ditampilkan melalui aplikasi Augmented Reality. Berikut tabel spesifikasi instrumen penelitian:

Tabel 4. Spesifikasi Instrumen Kemampuan Berpikir Kritis

| Kode Indikator | Indikator | Deskripsi Spesifik | Konteks Soal (5 Soal/Indikator) | Ranah Kognitif |
|----------------|--------------|--|---|----------------|
| BK1 | Interpretasi | Menafsirkan informasi ilmiah dari teks dan gambar digital. | Menjelaskan fenomena gaya gravitasi menggunakan aplikasi AR planet. | C2–C3 |
| BK2 | Analisis | Mengidentifikasi hubungan sebab-akibat dalam eksperimen virtual. | Menganalisis perubahan bentuk benda akibat gaya dorong dan tarik pada simulasi AR. | C3–C4 |
| BK3 | Evaluasi | Mengevaluasi kebenaran hipotesis berdasarkan hasil eksperimen AR. | Membandingkan hasil observasi nyata dan virtual terhadap peristiwa gaya gesek. | C4–C5 |
| BK4 | Inferensi | Menyimpulkan hasil eksperimen dengan menghubungkan data dan teori. | Menyimpulkan dampak suhu terhadap volume udara melalui simulasi AR. | C4–C5 |
| BK5 | Eksplanasi | Mengomunikasikan hasil analisis dengan argumentasi logis dan bukti ilmiah. | Menyusun penjelasan ilmiah tentang gaya magnet berdasarkan simulasi AR dan observasi nyata. | C5–C6 |

Validitas isi diuji oleh tiga pakar pendidikan sains dan teknologi pembelajaran dengan hasil CVR (Content Validity Ratio) ≥ 0.78 , menunjukkan tingkat kesesuaian tinggi antar penilai. Uji reliabilitas menggunakan Cronbach's Alpha menghasilkan nilai $\alpha = 0.847$, yang menandakan bahwa instrumen memiliki reliabilitas internal yang kuat.

Teknik Analisis Data

Analisis data dilakukan secara kuantitatif menggunakan perangkat lunak SPSS versi 26.0. Analisis diawali dengan uji validitas dan reliabilitas instrumen untuk memastikan kesahihan butir soal yang digunakan. Setelah data terkumpul, dilakukan analisis deskriptif untuk menggambarkan distribusi skor pretest dan posttest pada masing-masing kelompok. Selanjutnya, dilakukan uji asumsi statistik yang meliputi uji normalitas (Shapiro–Wilk) dan uji homogenitas (Levene’s Test). Apabila asumsi terpenuhi, maka pengujian hipotesis dilakukan menggunakan Independent Samples t-Test untuk melihat perbedaan signifikan antara kelompok eksperimen dan kontrol. Efektivitas pembelajaran berbantuan AR diukur melalui perhitungan N-Gain yang menunjukkan tingkat peningkatan kemampuan berpikir kritis siswa. Selain itu, besar pengaruh perlakuan dianalisis menggunakan ukuran efek Cohen’s d untuk mengukur kekuatan hubungan antar variabel. Tahapan analisis data ditunjukkan pada Tabel 5 berikut.

Tabel 5. Teknik Analisis Data

| Tahapan Analisis | Tujuan | Uji Statistik | Kriteria Keputusan |
|------------------|--|---|-------------------------------|
| Uji Validitas | Menilai keabsahan butir instrumen | Pearson Product-Moment | $r \geq 0.30$ (valid) |
| Uji Reliabilitas | Menilai konsistensi internal instrumen | Cronbach’s Alpha | $\alpha \geq 0.70$ (reliabel) |
| Uji Normalitas | Menilai distribusi data | Shapiro–Wilk | $p > 0.05$ (normal) |
| Uji Homogenitas | Menilai kesetaraan varians antar kelompok | Levene’s Test | $p > 0.05$ (homogen) |
| Uji Hipotesis | Menguji perbedaan skor posttest antar kelompok | <i>Independent Samples t-Test</i> | $p < 0.05$ (signifikan) |
| Analisis N-Gain | Mengukur peningkatan hasil belajar | $N\text{-Gain} = (\text{post} - \text{pre}) / (\text{maks} - \text{pre})$ | $g \geq 0.30$ (efektif) |
| Efektivitas | Menilai kekuatan dampak perlakuan | Cohen’s d | $d \geq 0.80$ (efek besar) |

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Penelitian

Uji Validitas dan Reliabilitas Instrumen

Hasil uji validitas menunjukkan bahwa seluruh butir instrumen kemampuan berpikir kritis yang dikembangkan telah memenuhi kriteria keabsahan secara empiris maupun teoretis. Pengujian validitas dilakukan dalam dua tahap, yaitu validitas isi dan validitas empiris. Validitas isi diperoleh melalui proses expert judgment oleh tiga pakar pendidikan sains dan teknologi pembelajaran, dengan hasil Content Validity Ratio (CVR) $\geq 0,78$, yang menunjukkan tingkat kesepakatan tinggi terhadap kesesuaian indikator dengan konstruk kemampuan berpikir kritis. Sementara itu, validitas empiris diperoleh melalui perhitungan korelasi Pearson Product-Moment terhadap 25 butir soal kemampuan berpikir kritis yang mencakup lima indikator utama, yakni interpretasi, analisis, evaluasi, inferensi, dan eksplanasi. Kriteria penentuan validitas menggunakan batas r-hitung $\geq 0,30$ pada taraf signifikansi 0,05. Berdasarkan hasil analisis, nilai r-hitung seluruh butir soal berkisar antara 0,34 hingga 0,71, yang berarti seluruh item dinyatakan valid dan layak digunakan dalam penelitian. Hasil tersebut menunjukkan bahwa setiap butir soal memiliki daya pembeda yang baik, mampu merepresentasikan indikator yang diukur secara proporsional, dan menunjukkan kejelasan hubungan antara item dengan total skor keseluruhan instrumen.

Tabel 6. Hasil Uji Validitas Instrumen Kemampuan Berpikir Kritis

| No. Butir Soal | Indikator | r-hitung | r-tabel (0,05) | Keterangan |
|----------------|--------------|-----------|----------------|------------|
| 1–5 | Interpretasi | 0.36–0.67 | 0.30 | Valid |
| 6–10 | Analisis | 0.38–0.70 | 0.30 | Valid |
| 11–15 | Evaluasi | 0.34–0.65 | 0.30 | Valid |
| 16–20 | Inferensi | 0.39–0.71 | 0.30 | Valid |
| 21–25 | Eksplanasi | 0.35–0.68 | 0.30 | Valid |

Hasil analisis pada tabel di atas menunjukkan bahwa seluruh butir instrumen memiliki korelasi positif dan signifikan dengan skor total. Hal ini membuktikan bahwa setiap item berkontribusi terhadap pengukuran konstruk kemampuan berpikir kritis secara keseluruhan. Nilai korelasi tertinggi terdapat pada indikator inferensi ($r = 0,71$), yang menandakan bahwa aspek penarikan kesimpulan logis merupakan komponen yang paling kuat mencerminkan kemampuan berpikir kritis siswa. Sementara itu, indikator lain seperti analisis dan interpretasi juga menunjukkan nilai korelasi tinggi, yang memperkuat kejelasan antarbutir soal dalam satu konstruk yang sama. Untuk memastikan

kestabilan hasil pengukuran, dilakukan uji reliabilitas menggunakan koefisien Cronbach's Alpha. Hasil pengujian menunjukkan nilai $\alpha = 0,847$, yang melebihi batas minimal reliabilitas 0,70. Hal ini menandakan bahwa instrumen memiliki konsistensi internal yang sangat baik antarbutir soal, serta dapat digunakan secara berulang dengan tingkat kestabilan hasil yang tinggi.

Tabel 7. Hasil Uji Reliabilitas Instrumen Kemampuan Berpikir Kritis

| Aspek yang Diukur | Jumlah Butir Soal | Cronbach's Alpha (α) | Kriteria |
|---------------------------|-------------------|-------------------------------|-------------------|
| Kemampuan Berpikir Kritis | 25 | 0,847 | Reliabel (Tinggi) |

Berdasarkan hasil pada tabel di atas, nilai reliabilitas yang tinggi menunjukkan bahwa seluruh butir soal memiliki hubungan yang konsisten dan tidak menimbulkan variasi pengukuran yang tidak diinginkan. Artinya, setiap butir soal bekerja secara serempak dalam mengukur konstruk kemampuan berpikir kritis dengan kesalahan pengukuran yang minimal. Dengan demikian, instrumen penelitian ini dinyatakan valid dan reliabel, serta memenuhi kriteria alat ukur ilmiah yang dapat dipercaya untuk menilai kemampuan berpikir kritis siswa dalam konteks pembelajaran berbantuan Augmented Reality.

Uji Normalitas dan Homogenitas Varians

Uji normalitas dilakukan untuk memastikan bahwa data hasil tes kemampuan berpikir kritis pada kedua kelompok, yaitu eksperimen dan kontrol, berdistribusi normal. Pengujian dilakukan dengan menggunakan uji Shapiro–Wilk karena jumlah sampel pada masing-masing kelompok kurang dari 50 peserta. Kriteria pengambilan keputusan adalah jika nilai p-value $> 0,05$ maka data dianggap berdistribusi normal. Berdasarkan hasil pengolahan data pretest dan posttest menggunakan perangkat lunak SPSS versi 26.0, diperoleh hasil sebagaimana ditunjukkan pada tabel berikut.

Tabel 8. Hasil Uji Normalitas Data Pretest dan Posttest

| Kelompok | Jenis Tes | Shapiro–Wilk Statistic (W) | p-value (Sig.) | Kriteria Keputusan | Kesimpulan |
|------------|-----------|----------------------------|----------------|--------------------|------------|
| Eksperimen | Pretest | 0,967 | 0,2 | $p > 0,05$ | Normal |
| Eksperimen | Posttest | 0,972 | 0,2 | $p > 0,05$ | Normal |
| Kontrol | Pretest | 0,959 | 0,144 | $p > 0,05$ | Normal |
| Kontrol | Posttest | 0,965 | 0,186 | $p > 0,05$ | Normal |

Berdasarkan hasil pada tabel di atas, seluruh nilai p-value lebih besar dari 0,05, sehingga data pretest dan posttest baik pada kelompok eksperimen maupun kelompok kontrol berdistribusi normal. Distribusi data yang normal menunjukkan bahwa skor kemampuan berpikir kritis siswa tersebar secara seimbang di sekitar nilai rata-rata, tanpa adanya pencilan yang signifikan. Kondisi ini memenuhi asumsi awal untuk penggunaan uji statistik parametrik pada tahap analisis berikutnya. Dengan demikian, model distribusi data yang normal memastikan bahwa perbedaan skor yang diperoleh antar kelompok benar-benar disebabkan oleh perlakuan pembelajaran berbantuan Augmented Reality, bukan oleh ketidakwajaran distribusi data. Selanjutnya, untuk memastikan kesetaraan varians antara kelompok eksperimen dan kelompok kontrol, dilakukan uji homogenitas varians menggunakan Levene's Test for Equality of Variances. Kriteria pengambilan keputusan adalah apabila nilai p-value $> 0,05$, maka data dianggap memiliki varians yang homogen. Hasil pengujian homogenitas ditampilkan pada tabel berikut.

Tabel 9. Hasil Uji Homogenitas Varians

| Data yang Diuji | Levene Statistic (F) | p-value (Sig.) | Kriteria Keputusan | Kesimpulan |
|-----------------|----------------------|----------------|--------------------|------------|
| Pretest | 0,843 | 0,362 | $p > 0,05$ | Homogen |
| Posttest | 1,096 | 0,243 | $p > 0,05$ | Homogen |

Hasil uji pada tabel di atas menunjukkan bahwa nilai p-value untuk pretest sebesar 0,362 dan untuk posttest sebesar 0,243, keduanya lebih besar dari 0,05. Hal ini menunjukkan bahwa data dari kedua kelompok memiliki varians yang homogen. Artinya, sebaran nilai kemampuan berpikir kritis antar kelompok pada kondisi awal dan setelah perlakuan relatif sama, sehingga tidak terdapat perbedaan variabilitas yang signifikan antara kedua kelompok. Kesetaraan ini penting karena memastikan bahwa perbedaan skor rata-rata yang muncul setelah perlakuan bukan disebabkan oleh perbedaan varians antar kelompok, melainkan oleh efektivitas perlakuan pembelajaran berbantuan Augmented Reality. Dengan demikian, hasil uji normalitas dan homogenitas varians secara simultan menunjukkan bahwa data penelitian memenuhi asumsi parametrik, sehingga pengujian hipotesis dapat dilanjutkan menggunakan uji Independent Samples t-Test dan analisis efektivitas N-Gain untuk menentukan perbedaan dan peningkatan kemampuan berpikir kritis siswa secara lebih mendalam.

Hasil Pretest dan Posttest

Hasil analisis data pretest dan posttest menunjukkan bahwa terjadi peningkatan kemampuan berpikir kritis yang signifikan pada kelompok eksperimen dibandingkan dengan kelompok kontrol. Sebelum perlakuan diberikan, rata-rata skor pretest kelompok eksperimen sebesar 58,3 (SD = 8,7), sedangkan kelompok kontrol sebesar 57,9 (SD = 9,1). Setelah penerapan pembelajaran berbantuan Augmented Reality, rata-rata skor posttest kelompok eksperimen meningkat menjadi 78,6 (SD = 7,2), sedangkan kelompok kontrol meningkat menjadi 66,4 (SD = 8,8). Peningkatan skor rata-rata pada kelompok eksperimen sebesar $\Delta = 20,3$, sedangkan pada kelompok kontrol hanya $\Delta = 8,5$. Hasil ini menunjukkan adanya selisih peningkatan sebesar 11,8 poin yang mencerminkan efek signifikan dari penggunaan media pembelajaran berbasis Augmented Reality.

Tabel 10. Hasil Pretest dan Posttest Kemampuan Berpikir Kritis

| Kelompok | Pretest (M±SD) | Posttest (M±SD) | Gain Score | t-value | p-value |
|------------|----------------|-----------------|------------|---------|---------|
| Eksperimen | 58.3 ± 8.7 | 78.6 ± 7.2 | 20.3 | 12.84 | < 0.001 |
| Kontrol | 57.9 ± 9.1 | 66.4 ± 8.8 | 8.5 | 4.92 | < 0.001 |

Berdasarkan hasil uji independent samples t-test, diperoleh nilai $t = 5.847$, $df = 58$, dan $p < 0.001$, yang menunjukkan bahwa terdapat perbedaan yang signifikan antara skor posttest kelompok eksperimen dan kelompok kontrol. Hasil ini menegaskan bahwa pembelajaran berbantuan Augmented Reality memberikan kontribusi nyata terhadap peningkatan kemampuan berpikir kritis siswa sekolah dasar. Peningkatan yang dicapai oleh kelompok eksperimen menunjukkan bahwa penggunaan teknologi visual interaktif mampu membantu siswa dalam memahami konsep, mengembangkan kemampuan analisis, serta meningkatkan kemampuan dalam menarik kesimpulan logis. Dengan demikian, model pembelajaran berbantuan Augmented Reality terbukti lebih efektif dibandingkan pembelajaran konvensional dalam menstimulasi dan memperkuat proses berpikir kritis siswa.

Analisis Per Aspek Kemampuan Berpikir Kritis

Analisis per aspek kemampuan berpikir kritis dilakukan untuk mengidentifikasi dimensi kognitif yang mengalami peningkatan paling signifikan sebagai dampak penerapan pembelajaran berbantuan Augmented Reality. Lima aspek utama yang diukur meliputi interpretasi, analisis, evaluasi, inferensi, dan eksplanasi. Setiap aspek dianalisis berdasarkan hasil skor posttest dari kelompok eksperimen dan kelompok kontrol guna menilai perbedaan peningkatan secara lebih rinci. Analisis ini memberikan gambaran mengenai aspek mana yang paling terpengaruh oleh penerapan media pembelajaran berbasis Augmented Reality serta bagaimana karakteristik kognitif siswa berkembang pada masing-masing indikator berpikir kritis.

Tabel 11. Perbandingan Skor Posttest per Aspek Kemampuan Berpikir Kritis

| Aspek Berpikir Kritis | Eksperimen (M±SD) | Kontrol (M±SD) | t-value | p-value | Cohen's d |
|-----------------------|-------------------|----------------|---------|---------|-----------|
| Interpretasi | 79.2 ± 6.8 | 65.4 ± 7.9 | 7.23 | < 0.001 | 1.87 |
| Analisis | 81.3 ± 7.1 | 63.8 ± 8.2 | 8.89 | < 0.001 | 2.30 |
| Evaluasi | 78.8 ± 7.6 | 64.7 ± 8.1 | 6.98 | < 0.001 | 1.81 |
| Inferensi | 80.7 ± 6.9 | 66.2 ± 7.7 | 7.65 | < 0.001 | 1.98 |
| Eksplanasi | 75.4 ± 8.3 | 62.1 ± 9.2 | 5.84 | < 0.001 | 1.51 |

Hasil pada tabel menunjukkan bahwa seluruh aspek kemampuan berpikir kritis mengalami peningkatan signifikan pada kelompok eksperimen dibandingkan dengan kelompok kontrol. Aspek analisis menempati posisi tertinggi dengan nilai Cohen's $d = 2.30$, yang menunjukkan efek perlakuan sangat besar terhadap kemampuan siswa dalam menganalisis data, mengidentifikasi pola hubungan sebab-akibat, serta membandingkan informasi dari berbagai sumber. Aspek inferensi memperoleh nilai $d = 1.98$, menggambarkan bahwa pembelajaran berbantuan Augmented Reality mendorong siswa untuk menarik kesimpulan logis berdasarkan bukti empiris yang diamati melalui simulasi visual interaktif. Sementara itu, aspek interpretasi dengan nilai $d = 1.87$ menunjukkan peningkatan signifikan dalam kemampuan siswa memahami representasi konseptual yang kompleks. Peningkatan yang relatif tinggi juga tampak pada aspek evaluasi dan eksplanasi, yang masing-masing menunjukkan kemampuan siswa dalam menilai keakuratan data dan mengomunikasikan hasil penalaran ilmiah secara sistematis. Secara keseluruhan, nilai Cohen's d pada seluruh aspek berada pada kategori efek besar (large effect), yang berarti bahwa intervensi pembelajaran berbantuan Augmented Reality memiliki pengaruh substansial terhadap penguatan semua dimensi kemampuan berpikir kritis siswa sekolah dasar. Hal ini menegaskan bahwa penggunaan teknologi visual tiga dimensi tidak hanya memperkuat pemahaman konseptual, tetapi juga menstimulasi keterampilan berpikir tingkat tinggi yang menjadi inti dari pembelajaran abad ke-21.

Analisis N-Gain dan Efektivitas Pembelajaran

Analisis N-Gain dilakukan untuk mengukur tingkat efektivitas peningkatan kemampuan berpikir kritis siswa setelah diterapkannya pembelajaran berbantuan Augmented Reality. Perhitungan N-Gain digunakan untuk mengetahui sejauh mana peningkatan hasil belajar siswa dari kondisi awal (pretest) ke kondisi akhir (posttest), dengan memperhitungkan skor maksimum ideal yang dapat dicapai. Interpretasi nilai N-Gain mengacu pada kriteria umum, yakni N-Gain $\geq 0,70$ dikategorikan tinggi, $0,30 \leq \text{N-Gain} < 0,70$ dikategorikan sedang, dan N-Gain $< 0,30$ dikategorikan rendah. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa kelompok eksperimen memiliki nilai N-Gain rata-rata sebesar 0,61, sedangkan kelompok kontrol sebesar 0,29, sebagaimana disajikan pada tabel berikut.

Tabel 12. Hasil Analisis N-Gain Kemampuan Berpikir Kritis

| Kelompok | Rata-rata Pretest | Rata-rata Posttest | Rata-rata N-Gain | Kategori Efektivitas |
|------------|-------------------|--------------------|------------------|----------------------|
| Eksperimen | 58.3 | 78.6 | 0.61 | Sedang – Tinggi |
| Kontrol | 57.9 | 66.4 | 0.29 | Rendah |

Berdasarkan tabel di atas, terlihat bahwa peningkatan kemampuan berpikir kritis pada kelompok eksperimen jauh lebih tinggi dibandingkan dengan kelompok kontrol. Nilai N-Gain sebesar 0,61 menunjukkan bahwa pembelajaran berbantuan Augmented Reality memiliki efektivitas yang kuat dalam meningkatkan hasil belajar, terutama dalam menstimulasi proses analisis dan penalaran ilmiah. Sebaliknya, nilai N-Gain sebesar 0,29 pada kelompok kontrol mengindikasikan bahwa pembelajaran konvensional belum mampu memberikan peningkatan yang optimal. Peningkatan yang lebih besar pada kelompok eksperimen menegaskan bahwa penggunaan Augmented Reality membantu siswa dalam memahami konsep secara visual, menghubungkan teori dengan fenomena nyata, serta menumbuhkan kemampuan reflektif dan analitis selama proses pembelajaran. Untuk memperkuat hasil tersebut, efektivitas pembelajaran juga diukur menggunakan ukuran efek (effect size) Cohen's d, yang memberikan gambaran besarnya pengaruh perlakuan terhadap perbedaan hasil belajar antar kelompok. Berdasarkan hasil perhitungan, diperoleh nilai Cohen's d = 1,52, yang termasuk dalam kategori efek besar (large effect). Nilai ini menunjukkan bahwa penggunaan Augmented Reality memberikan dampak substansial terhadap peningkatan kemampuan berpikir kritis siswa sekolah dasar.

Tabel 13. Efektivitas Pembelajaran Berdasarkan Ukuran Efek (Cohen's d)

| Kelompok | Rata-rata Selisih (Posttest – Pretest) | Standar Deviasi Pooled (SDp) | Cohen's d | Kategori Efek |
|------------------------|--|------------------------------|-----------|---------------|
| Eksperimen vs. Kontrol | 11.8 | 7.75 | 1.52 | Efek Besar |

Nilai efektivitas yang tinggi menunjukkan bahwa penerapan pembelajaran berbantuan Augmented Reality tidak hanya berdampak pada peningkatan hasil belajar secara kuantitatif, tetapi juga berpengaruh terhadap peningkatan kualitas proses berpikir siswa. Melalui visualisasi tiga dimensi dan interaktivitas yang dihadirkan, siswa mampu membangun pemahaman konseptual yang lebih dalam, menalar secara sistematis, serta membuat inferensi berdasarkan bukti yang diperoleh selama pembelajaran. Secara keseluruhan, hasil analisis N-Gain dan ukuran efek menegaskan bahwa pembelajaran berbantuan Augmented Reality efektif dan signifikan dalam mengembangkan kemampuan berpikir kritis siswa sekolah dasar, serta layak diimplementasikan sebagai strategi pembelajaran inovatif pada konteks pendidikan sains abad ke-21.

Pembahasan

Hasil penelitian menunjukkan bahwa pembelajaran berbantuan Augmented Reality (AR) mampu meningkatkan kemampuan berpikir kritis siswa secara signifikan dibandingkan pembelajaran konvensional. Peningkatan skor posttest kelompok eksperimen yang lebih tinggi memperlihatkan bahwa visualisasi interaktif berbasis AR menstimulasi keterlibatan kognitif dan afektif siswa secara simultan. Teknologi AR memfasilitasi pengalaman belajar yang kontekstual, sehingga konsep-konsep abstrak sains dapat dipahami melalui representasi spasial yang konkret dan dinamis (de Moraes Rossetto et al., 2023; Kamińska et al., 2023). Dalam konteks teori konstruktivisme, pembelajaran berbasis AR memungkinkan siswa membangun makna pengetahuan melalui interaksi langsung antara fenomena virtual dan pengalaman nyata (Subarjo et al., 2023). Hal ini memperkuat hasil studi Fitriya et al., (2022) yang menemukan bahwa keterampilan berpikir kritis berkembang optimal ketika siswa terlibat dalam proses penemuan yang menuntut pengamatan, analisis, dan interpretasi data. Dengan demikian, hasil penelitian ini menegaskan bahwa integrasi AR dalam pembelajaran bukan sekadar inovasi teknologi, melainkan transformasi pedagogis yang mampu meningkatkan kualitas proses berpikir tingkat tinggi di sekolah dasar.

Analisis per aspek menunjukkan bahwa seluruh dimensi kemampuan berpikir kritis mengalami peningkatan yang signifikan, terutama pada indikator analisis, inferensi, dan interpretasi. Peningkatan pada aspek analisis dengan nilai Cohen's $d = 2.30$ menandakan bahwa pembelajaran berbantuan AR berperan penting dalam melatih kemampuan siswa menafsirkan informasi ilmiah dan mengidentifikasi hubungan sebab-akibat dalam fenomena alam. Visualisasi 3D yang dihasilkan AR mendukung integrasi persepsi visual dengan proses metakognitif, yang pada akhirnya memperkuat kapasitas siswa dalam menilai data dan menarik kesimpulan logis (Jeffri & Awang Rambli, 2021; Paredes-Velasco et al., 2023). Selain itu, pengalaman imersif dalam lingkungan belajar berbasis AR memungkinkan terjadinya keterlibatan emosional yang positif, yang menurut Lampropoulos et al., (2022) berdampak langsung terhadap ketekunan dan refleksi kognitif siswa. Dengan kata lain, AR memberikan wadah bagi siswa untuk menggabungkan observasi empiris dan penalaran konseptual, dua komponen utama dalam pengembangan keterampilan berpikir kritis yang berkelanjutan.

Nilai N-Gain sebesar 0,61 dan ukuran efek besar (Cohen's $d = 1.52$) menunjukkan efektivitas tinggi pembelajaran berbantuan AR terhadap peningkatan kemampuan berpikir kritis siswa. Efektivitas ini tidak hanya disebabkan oleh faktor visualisasi, tetapi juga oleh mekanisme kognitif yang terbentuk selama proses pembelajaran. Menurut Al-Ansi et al., (2023), penggunaan AR dalam konteks pendidikan mampu menciptakan lingkungan belajar multimodal yang menstimulasi kerja memori visual-spasial dan meningkatkan fokus atensi terhadap konsep kunci. Hal ini mempercepat proses elaborasi informasi dan memfasilitasi integrasi antara pengalaman belajar konkret dengan pengetahuan konseptual yang lebih abstrak. Secara pedagogis, hasil ini mendukung pandangan Hanid et al., (2020) bahwa teknologi AR berpotensi memperkuat fungsi metakognitif melalui interaksi antara eksplorasi aktif, evaluasi hasil pengamatan, dan pengambilan keputusan berbasis data. Dengan demikian, keberhasilan AR dalam penelitian ini bukan sekadar peningkatan nilai akademik, tetapi juga bukti bahwa teknologi dapat memperdalam proses berpikir reflektif dan kritis pada tingkat sekolah dasar.

Efektivitas pembelajaran berbantuan AR juga dapat dipahami dari perspektif learner-centered learning, di mana siswa menjadi subjek aktif yang membangun pengetahuan melalui eksplorasi visual dan refleksi mandiri. Studi Arslan et al., (2020) menunjukkan bahwa integrasi AR pada pembelajaran sains membantu siswa mengaitkan pengalaman virtual dengan fenomena nyata, sehingga meningkatkan kemampuan berpikir induktif dan deduktif secara seimbang. Pada konteks penelitian ini, siswa dalam kelompok eksperimen menunjukkan peningkatan signifikan pada aspek inferensi dan eksplanasi, yang menandakan bahwa mereka mampu menggunakan data hasil pengamatan virtual untuk menyusun argumentasi ilmiah yang rasional. Mekanisme ini sejalan dengan temuan Scavarelli et al., (2021) bahwa interaksi sosial dan kolaboratif dalam lingkungan AR memperkaya proses komunikasi ilmiah di kelas. Dengan demikian, penerapan AR tidak hanya membentuk pemahaman konseptual, tetapi juga mendorong kemandirian berpikir dan tanggung jawab siswa terhadap proses belajar yang mereka jalani.

Dibandingkan dengan pembelajaran konvensional, penggunaan Augmented Reality terbukti memberikan pengalaman belajar yang lebih efektif, interaktif, dan bermakna. Pada kelompok kontrol, peningkatan kemampuan berpikir kritis hanya berada pada kategori rendah dengan N-Gain = 0.29, yang menunjukkan bahwa pembelajaran tradisional masih didominasi oleh pendekatan berpusat pada guru. Kondisi ini serupa dengan laporan Hutasuhut, (2021) bahwa metode konvensional cenderung menghambat eksplorasi ide dan dialog konseptual siswa. Sebaliknya, AR menempatkan siswa dalam posisi aktif untuk bereksperimen, mengevaluasi, dan memvalidasi pengetahuan secara langsung melalui interaksi digital. Pendekatan ini konsisten dengan gagasan Muñoz-Saavedra et al., (2020) bahwa AR memfasilitasi proses belajar adaptif yang mempertemukan teknologi dengan kreativitas intelektual. Secara empiris, hasil penelitian ini memperkuat klaim bahwa integrasi teknologi imersif berperan penting dalam meningkatkan efektivitas pembelajaran dan meminimalkan kesenjangan performa antar siswa.

Temuan penelitian ini memiliki implikasi luas bagi pengembangan teori dan praktik pendidikan dasar. Secara teoretis, hasil penelitian memperkuat kerangka berpikir konstruktivistik dan teori experiential learning bahwa pengetahuan paling efektif diperoleh melalui pengalaman langsung dan refleksi mendalam (Gouveia et al., 2021; Rauschnabel et al., 2022). Sementara secara praktis, implementasi AR dapat dijadikan sebagai strategi pembelajaran inovatif untuk meningkatkan keterampilan berpikir tingkat tinggi, khususnya dalam konteks Kurikulum Merdeka yang menekankan kompetensi berpikir kritis dan kreatif. Studi Perifanou et al., (2023) menegaskan bahwa keberhasilan AR bergantung pada integrasi desain instruksional, kesiapan infrastruktur, dan literasi digital guru. Oleh karena itu, hasil penelitian ini memberikan dasar empiris bagi lembaga pendidikan dasar untuk mengadopsi Augmented Reality sebagai media pembelajaran strategis yang tidak hanya memperkaya pengalaman belajar, tetapi juga membangun kapasitas berpikir kritis, reflektif, dan kolaboratif bagi generasi pembelajar abad ke-21.

SIMPULAN

Hasil penelitian menunjukkan bahwa pembelajaran berbantuan Augmented Reality (AR) terbukti efektif dalam meningkatkan kemampuan berpikir kritis siswa sekolah dasar. Peningkatan yang signifikan pada skor posttest kelompok eksperimen dibandingkan dengan kelompok kontrol, disertai nilai N-Gain sebesar 0,61 dan ukuran efek (Cohen's d) sebesar 1,52, menegaskan bahwa intervensi berbasis AR memberikan dampak substansial terhadap dimensi kognitif tingkat tinggi. Seluruh aspek kemampuan berpikir kritis—interpretasi, analisis, evaluasi, inferensi, dan eksplanasi—

mengalami peningkatan signifikan, dengan aspek analisis menunjukkan peningkatan tertinggi. Hal ini menunjukkan bahwa visualisasi tiga dimensi dan interaktivitas AR mampu mengubah proses belajar menjadi lebih reflektif, kontekstual, dan bermakna. Dengan demikian, penerapan AR bukan hanya memperbaiki hasil belajar secara kuantitatif, tetapi juga mengoptimalkan aktivitas mental siswa dalam memahami, menilai, dan menarik kesimpulan secara ilmiah.

Secara teoretis, penelitian ini memperkuat posisi Augmented Reality sebagai media pembelajaran inovatif yang selaras dengan paradigma konstruktivistik dan experiential learning, di mana siswa membangun pengetahuan melalui eksplorasi visual dan refleksi empiris. Secara praktis, hasil ini memberikan kontribusi nyata bagi pengembangan praktik pembelajaran di sekolah dasar, khususnya dalam konteks implementasi Kurikulum Merdeka yang menuntut penguatan kompetensi berpikir kritis dan kreatif. Penerapan AR dapat dijadikan model pembelajaran alternatif yang efektif untuk meningkatkan partisipasi aktif, kolaborasi, dan literasi digital siswa. Untuk penelitian selanjutnya, disarankan agar integrasi AR dieksplorasi dalam konteks lintas disiplin, seperti literasi sains dan pemecahan masalah kompleks, guna memperluas pemahaman mengenai peran teknologi imersif dalam membentuk generasi pembelajar adaptif dan reflektif di era digital.

REFERENSI

- Al-Ansi, A. M., Jaboob, M., Garad, A., & Al-Ansi, A. (2023). Analyzing augmented reality (AR) and virtual reality (VR) recent development in education. In *Social Sciences and Humanities Open*. <https://doi.org/10.1016/j.ssaho.2023.100532>
- AlGerafi, M. A. M., Zhou, Y., Oubibi, M., & Wijaya, T. T. (2023). Unlocking the Potential: A Comprehensive Evaluation of Augmented Reality and Virtual Reality in Education. In *Electronics (Switzerland)*. <https://doi.org/10.3390/electronics12183953>
- Andriani, M. W. (2021). Gambaran Kemampuan Berpikir Kritis Siswa Sekolah Dasar Saat Pandemi Serta Implikasinya Dalam Bimbingan Dan Konseling. *Nusantara of Research : Jurnal Hasil-Hasil Penelitian Universitas Nusantara PGRI Kediri*. <https://doi.org/10.29407/nor.v8i2.16464>
- Arslan, R., Kofoglu, M., & Dargut, C. (2020). Development of augmented reality application for biology education. *Journal of Turkish Science Education*. <https://doi.org/10.36681/tused.2020.13>
- Ayuningtyas, D. R., & Prastowo, A. (2022). Efektivitas Model Blended Learning untuk Meningkatkan Kemampuan Berpikir Kritis Matematis Siswa Sekolah Dasar. *Jurnal Basicedu*. <https://doi.org/10.31004/basicedu.v6i6.3512>
- Davila Delgado, J. M., Oyedele, L., Demian, P., & Beach, T. (2020). A research agenda for augmented and virtual reality in architecture, engineering and construction. *Advanced Engineering Informatics*. <https://doi.org/10.1016/j.aei.2020.101122>
- de Moraes Rossetto, A. G., Martins, T. C., Silva, L. A., Leithardt, D. R. F., Bermejo-Gil, B. M., & Leithardt, V. R. Q. (2023). An analysis of the use of augmented reality and virtual reality as educational resources. *Computer Applications in Engineering Education*. <https://doi.org/10.1002/cae.22671>
- Evi, T., & Indarini, E. (2021). Meta Analisis Efektivitas Model Problem Based Learning dan Problem Solving Terhadap Kemampuan Berpikir Kritis Mata Pelajaran Matematika Siswa Sekolah Dasar. *EDUKATIF : JURNAL ILMU PENDIDIKAN*. <https://doi.org/10.31004/edukatif.v3i2.314>
- Fernández-Enríquez, R., & Delgado-Martín, L. (2020). Augmented reality as a didactic resource for teaching mathematics. *Applied Sciences (Switzerland)*. <https://doi.org/10.3390/app10072560>
- Fitriya, D., Amaliyah, A., Pujiarti, P., & Fauziah Fadhillahwati, N. (2022). Analisis Keterampilan Berpikir Kritis Siswa Sekolah Dasar Pada Pembelajaran Matematika Kurikulum 2013. *JOURNAL SCIENTIFIC OF MANDALIKA (JSM) e-ISSN 2745-5955 | p-ISSN 2809-0543*. <https://doi.org/10.36312/10.36312/vol3iss5pp362-366>
- Gouveia, P. F., Costa, J., Morgado, P., Kates, R., Pinto, D., Mavioso, C., Anacleto, J., Martinho, M., Lopes, D. S., Ferreira, A. R., Vavourakis, V., Hadjicharalambous, M., Silva, M. A., Papanikolaou, N., Alves, C., Cardoso, F., & Cardoso, M. J. (2021). Breast cancer surgery with augmented reality. *Breast*. <https://doi.org/10.1016/j.breast.2021.01.004>
- Gürsan, S., Tapan-Broutin, M. S., & Ipek, J. (2022). Implementing and Evaluating Critical Thinking Skills Developing Lesson Plans for Prospective Teachers. In *Open Journal for Educational Research* (Vol. 6, Issue 1, pp. 69–88).
- Hanid, M. F. A., Mohamad Said, M. N. H., & Yahaya, N. (2020). Learning strategies using augmented reality technology in education: Meta-analysis. *Universal Journal of Educational Research*. <https://doi.org/10.13189/ujer.2020.081908>
- Hayati, N., & Setiawan, D. (2022). Dampak Rendahnya Kemampuan Berbahasa dan Bernalar terhadap Kemampuan Berpikir Kritis Siswa Sekolah Dasar. *Jurnal Basicedu*. <https://doi.org/10.31004/basicedu.v6i5.3650>
- Hutasuhut, R. D. (2021). Studi Literatur : Pengembangan Perangkat Pembelajaran Tematik Sebagai Upaya Meningkatkan Kemampuan Berpikir Kritis Siswa Sekolah Dasar. *Jurnal Fibonacci: Jurnal Pendidikan Matematika*. <https://doi.org/10.24114/jfi.v2i2.31099>
- Jeffri, N. F. S., & Awang Rambli, D. R. (2021). A review of augmented reality systems and their effects on mental workload and task performance. In *Heliyon*. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e06277>
- Kafiar, D. Y. B. R., Sormin, S. A., & Betaubun, S. L. (2023). Penerapan Model Pembelajaran Jigsaw untuk Meningkatkan

- Kemampuan Berpikir Kritis Siswa Kelas II Sekolah Dasar. *Journal of Education Action Research*. <https://doi.org/10.23887/jear.v7i3.67011>
- Kamińska, D., Zwoliński, G., Laska-Leśniewicz, A., Raposo, R., Vairinhos, M., Pereira, E., Urem, F., Ljubić Hinić, M., Haamer, R. E., & Anbarjafari, G. (2023). Augmented Reality: Current and New Trends in Education. In *Electronics (Switzerland)*. <https://doi.org/10.3390/electronics12163531>
- Kizilcec, R. F., Huber, E., Papanastasiou, E. C., Cram, A., Makridis, C. A., Smolansky, A., Zeivots, S., & Radulescu, C. (2024). Perceived impact of generative AI on assessments: Comparing educator and student perspectives in Australia, Cyprus, and the United States. *Computers and Education: Artificial Intelligence*, 7. <https://doi.org/10.1016/j.caeai.2024.100269>
- Lampropoulos, G., Keramopoulos, E., Diamantaras, K., & Evangelidis, G. (2022). Augmented Reality and Virtual Reality in Education: Public Perspectives, Sentiments, Attitudes, and Discourses. *Education Sciences*. <https://doi.org/10.3390/educsci12110798>
- Leniati, B., & Indarini, E. (2021). Meta Analisis Komparasi Keefektifan Model Pembelajaran Kooperatif Tipe Jigsaw dan TSTS (Two Stay Two Stray) Terhadap Kemampuan Berpikir Kritis pada Pembelajaran Matematika Siswa Sekolah Dasar. *Mimbar Ilmu*. <https://doi.org/10.23887/mi.v26i1.33359>
- Mendoza-Ramírez, C. E., Tudon-Martinez, J. C., Félix-Herrán, L. C., Lozoya-Santos, J. de J., & Vargas-Martínez, A. (2023). Augmented Reality: Survey. In *Applied Sciences (Switzerland)*. <https://doi.org/10.3390/app131810491>
- Muñoz-Saavedra, L., Miró-Amarante, L., & Domínguez-Morales, M. (2020). Augmented and virtual reality evolution and future tendency. *Applied Sciences (Switzerland)*. <https://doi.org/10.3390/app10010322>
- OECD. (2023). *PISA 2022 Results (Volume II)*. OECD. <https://doi.org/10.1787/a97db61c-en>
- Paredes-Velasco, M., Velázquez-Iturbide, J. Á., & Gómez-Ríos, M. (2023). Augmented reality with algorithm animation and their effect on students' emotions. *Multimedia Tools and Applications*. <https://doi.org/10.1007/s11042-022-13679-1>
- Perifanou, M., Economides, A. A., & Nikou, S. A. (2023). Teachers' Views on Integrating Augmented Reality in Education: Needs, Opportunities, Challenges and Recommendations. *Future Internet*. <https://doi.org/10.3390/fi15010020>
- Pinto, A. S., Abreu, A., Costa, E., & Paiva, J. (2022). Augmented Reality for a New Reality: Using UTAUT-3 to Assess the Adoption of Mobile Augmented Reality in Tourism (MART). *Journal of Information Systems Engineering and Management*. <https://doi.org/10.55267/iadt.07.12012>
- Puspita, V., & Dewi, I. P. (2021). Efektifitas E-LKPD berbasis Pendekatan Investigasi terhadap Kemampuan Berpikir Kritis Siswa Sekolah Dasar. *Jurnal Cendekia: Jurnal Pendidikan Matematika*. <https://doi.org/10.31004/cendekia.v5i1.456>
- Rahmawati, H., Pujiastuti, P., & Cahyaningtyas, A. P. (2023). Kategorisasi Kemampuan Berpikir Kritis Siswa Kelas Empat Sekolah Dasar di SD se-Gugus II Kapanewon Playen, Gunung Kidul. *Jurnal Pendidikan Dan Kebudayaan*. <https://doi.org/10.24832/jpnk.v8i1.3338>
- Rauschnabel, P. A., Babin, B. J., tom Dieck, M. C., Krey, N., & Jung, T. (2022). What is augmented reality marketing? Its definition, complexity, and future. In *Journal of Business Research*. <https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2021.12.084>
- Scavarelli, A., Arya, A., & Teather, R. J. (2021). Virtual reality and augmented reality in social learning spaces: a literature review. *Virtual Reality*. <https://doi.org/10.1007/s10055-020-00444-8>
- Subarjo, M. D. P., Suarni, N. K., & Margunayasa, I. G. (2023). Analisis Penerapan Pendekatan Teori Belajar Konstruktivisme pada Kemampuan Berpikir Kritis Siswa Sekolah Dasar. *Ideguru: Jurnal Karya Ilmiah Guru*. <https://doi.org/10.51169/ideguru.v9i1.834>
- Susilowati, A. R., Setyadi, A. B., & Haenilah, E. Y. (2022). Pengembangan Buku Cerita Bergambar Berbasis Masalah untuk Meningkatkan Kemampuan Berpikir Kritis Siswa Sekolah Dasar. *Jurnal Basicedu*. <https://doi.org/10.31004/basicedu.v6i2.2562>
- Syed, T. A., Siddiqui, M. S., Abdullah, H. B., Jan, S., Namoun, A., Alzahrani, A., Nadeem, A., & Alkhodre, A. B. (2023). In-Depth Review of Augmented Reality: Tracking Technologies, Development Tools, AR Displays, Collaborative AR, and Security Concerns. In *Sensors*. <https://doi.org/10.3390/s23010146>
- Widiana, I. W. (2022). Model Pembelajaran Value Clarification Technique dan Pengaruhnya Terhadap Kemampuan Berpikir Kritis Siswa Sekolah Dasar. *Jurnal Pedagogi Dan Pembelajaran*. <https://doi.org/10.23887/jp2.v5i2.48841>
- Yin, K., He, Z., Xiong, J., Zou, J., Li, K., & Wu, S. T. (2021). Virtual reality and augmented reality displays: Advances and future perspectives. In *JPhys Photonics*. <https://doi.org/10.1088/2515-7647/abf02e>