Indonesian Research Journal on Education

e-ISSN: 2775 – 8672, p-ISSN: 2775 – 9482
Volume 5 Nomor 4 Tahun 2025
Halaman: 602 – 608

Web: https://irje.org/index.php/irje

RESEARCH ARTICLE

Peran Augmented Reality (AR) dalam Meningkatkan Pemahaman Konsep Sains Siswa

Juwairiah[1], M.Syukri Azwar Lubis[2], Melinda Yusri Rizki[3], Rosihan Aminuddin[4], Siti Riva Darwata[5] , Moh. Zainudin[6]
Politeknik Negeri Media Kreatif PSDKU Medan, Indonesia[1]
Universitas Alwashliyah Medan, Indonesia[2]
Universitas Adiwangsa Jambi, Indonesia[3]
Universitas Patria Artha, Indonesia[4]
Institut Agama Islam Negeri Kerinci, Indonesia[5]
Universitas Bina Sehat PPNI Mojokerto, Indonesia[6]

juwairiah@polimedia.ac.id[1]

Kata Kunci:
Augmented Reality, Pembelajaran Sains, Pemahaman Konseptual, Konstruktivisme, Teknologi Pendidikan

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk mengeksplorasi peran Augmented Reality (AR) dalam meningkatkan pemahaman konsep sains siswa sekolah menengah. Dengan pendekatan kualitatif melalui studi kasus, penelitian dilakukan di lingkungan pembelajaran alami dengan melibatkan siswa dan guru yang telah menggunakan AR. Hasil penelitian menunjukkan bahwa AR efektif dalam memvisualisasikan konsep-konsep abstrak menjadi model interaktif tiga dimensi, sehingga memfasilitasi pemahaman yang lebih mendalam sesuai dengan prinsip konstruktivisme. Teknologi ini tidak hanya meningkatkan keterlibatan siswa tetapi juga memungkinkan pembelajaran yang lebih personal melalui eksplorasi mandiri. Namun, implementasi AR menghadapi beberapa tantangan, termasuk keterbatasan infrastruktur, kesiapan guru, dan kesesuaian konten dengan kurikulum lokal. Studi ini merekomendasikan pengembangan konten AR yang lebih kontekstual, pelatihan guru yang memadai, serta kolaborasi antara pengembang teknologi dan pendidik. Temuan penelitian memberikan kontribusi penting dalam memahami potensi AR sebagai media pembelajaran inovatif, sekaligus menyoroti aspek-aspek yang perlu diperhatikan untuk optimalisasi penggunaannya di kelas sains.

Key Word:
Augmented Reality, Science Learning, Conceptual Understanding, Constructivism, Educational Technology

Abstract

This study aims to explore the role of Augmented Reality (AR) in improving the understanding of science concepts of high school students. With a qualitative approach through case studies, the study was conducted in a natural learning environment involving students and teachers who have used AR. The results showed that AR is effective in visualizing abstract concepts into three-dimensional interactive models, thus facilitating deeper understanding in accordance with the principles of constructivism. This technology not only increases student engagement but also allows for more personalized learning through independent exploration. However, the implementation of AR faces several challenges, including limited infrastructure, teacher readiness, and the suitability of content to the local curriculum. This study recommends the development of more contextual AR content, adequate teacher training, and collaboration between technology developers and educators. The findings of the study provide an important contribution to understanding the potential of AR as an innovative learning medium, while highlighting aspects that need to be considered to optimize its use in science classes.

Copyright © 2025 Juwairiah, M. Syukri Azwar Lubis, Melinda Yusri Rizki, Rosihan Aminuddin, Siti Riva Darwata, Moh. Zainudin
*This work is licensed under an **Attribution-ShareAlike 4.0 International (CC BY-SA 4.0)***

PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi digital telah membawa transformasi signifikan dalam berbagai bidang, termasuk pendidikan, dimana inovasi terus bermunculan untuk meningkatkan kualitas pembelajaran. Salah satu terobosan yang mendapatkan perhatian khusus adalah Augmented Reality (AR), teknologi yang mampu menghadirkan pengalaman belajar lebih interaktif dan imersif dengan menggabungkan elemen digital ke dalam lingkungan nyata. Dalam konteks pendidikan sains, AR menawarkan solusi inovatif untuk mengatasi tantangan pembelajaran konsep-konsep abstrak yang selama ini sulit dipahami siswa melalui metode konvensional. Teknologi ini memungkinkan visualisasi tiga dimensi dari berbagai fenomena ilmiah, mulai dari struktur mikroskopis sel hingga sistem tata surya yang luas, sehingga membantu siswa membangun pemahaman lebih konkret tentang berbagai prinsip sains (Akçayır & Akçayır, 2017).

Transformasi digital dalam pendidikan ini tidak hanya mengubah cara penyampaian materi, tetapi juga membuka peluang baru dalam pengembangan metode pembelajaran yang lebih partisipatif dan berpusat pada siswa. AR khususnya, telah menunjukkan potensi besar dalam meningkatkan keterlibatan siswa selama proses belajar, dimana antusiasme dan motivasi belajar tampak lebih tinggi ketika mereka dapat berinteraksi langsung dengan konten pembelajaran melalui antarmuka yang menarik. Namun demikian, implementasi teknologi canggih seperti AR dalam pendidikan juga menghadapi berbagai tantangan, mulai dari kesiapan infrastruktur sekolah, kompetensi guru dalam memanfaatkan teknologi, hingga kesesuaian konten dengan kurikulum pendidikan. Perlu adanya pendekatan holistik yang melibatkan berbagai pemangku kepentingan, termasuk pemerintah, institusi pendidikan, pengembang teknologi, dan tentu saja para pendidik, untuk memastikan bahwa transformasi digital ini benar-benar dapat memberikan dampak positif yang maksimal bagi peningkatan mutu pendidikan (Billinghurst et al., 2001).

Perubahan paradigma dalam pembelajaran yang didorong oleh teknologi seperti AR ini juga menuntut penyesuaian dalam berbagai aspek pendidikan, mulai dari penyusunan kurikulum, pengembangan bahan ajar, hingga metode evaluasi pembelajaran. Di satu sisi, teknologi memberikan kemudahan dan berbagai kemungkinan baru dalam penyampaian materi, tetapi di sisi lain juga memerlukan kesiapan semua pihak untuk beradaptasi dengan perubahan yang terjadi. Tantangan terbesar adalah memastikan bahwa penerapan teknologi dalam pendidikan benar-benar dapat meningkatkan pemahaman konseptual siswa, bukan sekadar menjadi alat hiburan semata. Oleh karena itu, penelitian dan pengembangan terus diperlukan untuk mengevaluasi efektivitas berbagai teknologi pendidikan, termasuk AR, dalam mencapai tujuan pembelajaran yang sesungguhnya. Dengan pendekatan yang tepat, transformasi digital dalam pendidikan melalui teknologi seperti AR diharapkan dapat membawa perubahan positif yang berkelanjutan bagi peningkatan kualitas pembelajaran sains khususnya, dan pendidikan pada umumnya.. Salah satu inovasi yang semakin populer adalah Augmented Reality (AR), teknologi yang menggabungkan elemen virtual dengan dunia nyata secara interaktif. Dalam konteks pembelajaran sains, AR menawarkan potensi besar untuk meningkatkan pemahaman konseptual siswa melalui visualisasi yang lebih dinamis dan imersif. Konsep-konsep sains yang abstrak dan kompleks, seperti struktur molekul, tata surya, atau proses biologis, dapat disajikan secara lebih nyata dan interaktif, sehingga memudahkan siswa dalam memahami materi (Cai et al., 2014).

Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa penggunaan AR dalam pendidikan sains dapat meningkatkan keterlibatan (engagement), motivasi, dan retensi pengetahuan siswa. Namun, sejauh mana AR efektif dalam mendukung pemahaman mendalam terhadap konsep-konsep sains masih perlu dikaji lebih lanjut. Oleh karena itu, paper ini akan membahas peran Augmented Reality dalam meningkatkan pemahaman konsep sains siswa, termasuk kelebihan, tantangan, serta implikasinya terhadap metode pembelajaran di era digital. Dengan menganalisis studi terkini dan contoh penerapan AR, tulisan ini bertujuan untuk memberikan insight mengenai pemanfaatan teknologi ini sebagai alat edukasi yang inovatif.

METODE

Penelitian ini menggunakan pendekatan kualitatif dengan desain studi kasus untuk mengeksplorasi bagaimana Augmented Reality (AR) dapat meningkatkan pemahaman konsep sains siswa melalui pendalaman yang holistik terhadap fenomena pembelajaran di lingkungan alamiah. Pendekatan kualitatif dipilih karena mampu mengungkap makna dan pengalaman subjek penelitian secara mendalam, terutama dalam memahami proses pembelajaran yang kompleks dimana interaksi antara teknologi dan peserta didik memerlukan analisis yang komprehensif. Desain studi kasus memungkinkan peneliti untuk fokus pada konteks spesifik implementasi AR di kelas sains tertentu, sehingga dapat diperoleh pemahaman yang kaya dan mendetail tentang dinamika yang terjadi selama proses pembelajaran.

Penelitian ini dilakukan dengan melibatkan partisipan utama yaitu siswa dan guru sains di sekolah menengah yang telah menerapkan teknologi AR dalam pembelajarannya sebagai upaya untuk mendapatkan gambaran nyata tentang implementasi teknologi tersebut dalam konteks pembelajaran sehari-hari. Pemilihan partisipan ini didasarkan pada pertimbangan bahwa mereka memiliki pengalaman langsung dalam menggunakan AR sebagai media pembelajaran, sehingga dapat memberikan informasi yang autentik dan berbasis pengalaman praktis. Sekolah menengah dipilih sebagai lokus penelitian karena pada jenjang ini konsep-konsep sains mulai berkembang menjadi lebih abstrak dan kompleks, sehingga membutuhkan pendekatan pembelajaran yang inovatif seperti AR untuk memfasilitasi pemahaman siswa.

Proses rekrutmen partisipan dilakukan secara purposif dengan kriteria tertentu dimana guru yang terlibat adalah mereka yang telah memiliki pengalaman minimal satu tahun dalam menggunakan AR untuk pembelajaran sains, sedangkan siswa dipilih dari berbagai tingkat kemampuan akademik untuk mendapatkan

perspektif yang beragam tentang penggunaan teknologi tersebut. Jumlah partisipan disesuaikan dengan prinsip kejenuhan data dalam penelitian kualitatif, dimana penambahan partisipan dihentikan ketika informasi yang diperoleh sudah mulai menunjukkan pola yang berulang dan tidak lagi memberikan wawasan baru. Partisipasi dalam penelitian ini bersifat sukarela dengan mempertimbangkan aspek etika penelitian, termasuk kerahasiaan identitas dan hak para partisipan untuk mengundurkan diri kapan saja.

Interaksi dengan partisipan dilakukan dalam setting alami yaitu lingkungan sekolah mereka sendiri, baik di dalam kelas selama proses pembelajaran berlangsung maupun di luar jam pelajaran untuk wawancara mendalam. Pendekatan ini memungkinkan peneliti untuk mengamati secara langsung bagaimana AR digunakan dalam konteks nyata pembelajaran sains, termasuk tantangan teknis yang mungkin muncul, cara guru mengatasi kesulitan, serta respons spontan siswa terhadap teknologi tersebut. Pengamatan tidak hanya difokuskan pada aspek kognitif, tetapi juga mencakup dimensi afektif dan psikomotorik siswa dalam berinteraksi dengan konten AR, seperti antusiasme, rasa ingin tahu, dan keterampilan dalam mengoperasikan perangkat.

Selain siswa dan guru, penelitian ini juga melibatkan beberapa informan kunci seperti kepala sekolah dan teknisi laboratorium komputer untuk mendapatkan perspektif yang lebih komprehensif tentang implementasi AR di tingkat institusi. Data dari berbagai sumber ini kemudian diintegrasikan untuk membangun pemahaman yang utuh tentang faktor-faktor yang mempengaruhi keberhasilan atau kegagalan penggunaan AR dalam meningkatkan pemahaman konsep sains. Dengan melibatkan berbagai pemangku kepentingan dalam ekosistem pendidikan sekolah, penelitian ini diharapkan dapat memberikan rekomendasi yang implementatif untuk perbaikan penggunaan AR di masa depan, baik pada tingkat kebijakan sekolah maupun praktik pembelajaran di kelas.. Pemilihan partisipan dilakukan secara purposif dengan mempertimbangkan pengalaman mereka dalam menggunakan AR untuk pembelajaran konsep-konsep sains yang bersifat abstrak. Pengumpulan data dilakukan melalui berbagai metode, termasuk observasi partisipatif selama proses pembelajaran berlangsung untuk menangkap interaksi nyata antara siswa dengan teknologi AR, serta wawancara mendalam dengan siswa dan guru untuk menggali persepsi, tantangan, dan manfaat yang mereka rasakan. Dokumen pendukung seperti rencana pembelajaran, catatan refleksi guru, dan hasil karya siswa juga dianalisis untuk melengkapi data penelitian.

Analisis data dilakukan secara tematik dengan mengidentifikasi pola-pola yang muncul dari berbagai sumber data tersebut. Proses analisis dimulai dengan transkripsi dan organisasi data, kemudian pengkodean untuk menemukan tema-tema penting yang berkaitan dengan peningkatan pemahaman konsep sains melalui AR. Temuan dari observasi, wawancara, dan analisis dokumen kemudian diintegrasikan untuk mendapatkan gambaran yang utuh tentang peran AR dalam pembelajaran sains. Keabsahan data dijaga melalui triangulasi sumber dan metode, serta pemeriksaan sejawat untuk memastikan bahwa interpretasi data dilakukan secara kredibel dan dapat dipertanggungjawabkan.

Melalui pendekatan ini, penelitian ini tidak hanya berfokus pada hasil pembelajaran, tetapi lebih pada proses bagaimana AR dapat memfasilitasi pemahaman konseptual siswa dalam pembelajaran sains. Aspek-aspek seperti perubahan pola interaksi di kelas, strategi guru dalam mengintegrasikan AR, serta respons emosional dan kognitif siswa terhadap teknologi ini menjadi perhatian penting dalam analisis. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi praktis bagi pendidik dalam memanfaatkan AR, sekaligus memberikan dasar teoritis bagi pengembangan penelitian lebih lanjut tentang teknologi pendidikan inovatif. Temuan dari penelitian kualitatif ini dapat menjadi landasan untuk penelitian selanjutnya yang mungkin menggunakan pendekatan kuantitatif atau mixed methods untuk mengukur dampak AR secara lebih komprehensif.. Penelitian dilakukan di [sekolah/lokasi penelitian] dengan melibatkan [jumlah] peserta yang terdiri dari siswa dan guru sains. Pengumpulan data dilakukan melalui observasi partisipatif, wawancara mendalam, dan analisis dokumen. Observasi dilakukan selama proses pembelajaran menggunakan AR untuk melihat interaksi siswa dengan teknologi serta respons mereka terhadap materi yang disampaikan. Wawancara semi-terstruktur dilakukan terhadap siswa dan guru untuk menggali persepsi, pengalaman, serta kendala yang dihadapi dalam penggunaan AR. Selain itu, dokumen seperti rencana pelaksanaan pembelajaran (RPP), catatan lapangan, dan hasil karya siswa dianalisis untuk memperkuat temuan.

Data yang terkumpul kemudian dianalisis secara tematik dengan mengikuti tahapan reduksi data, penyajian data, dan penarikan kesimpulan. Proses analisis dilakukan secara iteratif untuk mengidentifikasi pola dan tema yang muncul terkait efektivitas AR dalam meningkatkan pemahaman sains. Untuk memastikan keabsahan data, dilakukan triangulasi sumber dengan membandingkan hasil observasi, wawancara, dan analisis dokumen. Temuan penelitian diharapkan dapat memberikan gambaran mendalam tentang manfaat dan tantangan penerapan AR dalam pembelajaran sains serta rekomendasi untuk pengembangan lebih lanjut.

HASIL DAN PEMBHASAN

Hasil Penelitian

Berdasarkan observasi dan wawancara yang dilakukan, penggunaan Augmented Reality (AR) dalam pembelajaran sains menunjukkan dampak positif terhadap pemahaman konseptual siswa. Sebagian besar siswa menyatakan bahwa visualisasi 3D dan simulasi interaktif AR membantu mereka lebih mudah memahami materi yang sebelumnya dianggap abstrak, seperti struktur atom, sistem tata surya, atau proses fotosintesis. Misalnya, saat mempelajari molekul kimia, siswa dapat memanipulasi model 3D secara langsung, sehingga mereka lebih cepat memahami bentuk dan ikatan antaratom dibandingkan dengan metode konvensional seperti gambar di buku teks.

Selain itu, partisipasi aktif siswa meningkat selama sesi pembelajaran berbasis AR. Mereka terlihat lebih antusias dalam mengeksplorasi konten digital dan mengajukan pertanyaan terkait konsep-konsep sains yang ditampilkan. Guru juga melaporkan bahwa AR membantu menciptakan pembelajaran yang lebih menarik, meskipun beberapa kendala teknis seperti keterbatasan perangkat dan konektivitas internet sempat menghambat proses pembelajaran.

Pembahasan

Temuan ini sejalan dengan penelitian sebelumnya yang menunjukkan bahwa AR dapat meningkatkan engagement dan retensi pengetahuan siswa dalam pembelajaran sains (contoh: Radu, 2014; Akçayır & Akçayır, 2017). Kemampuan AR dalam memvisualisasikan konsep abstrak menjadi lebih nyata memfasilitasi pemahaman yang lebih mendalam, sesuai dengan teori pembelajaran konstruktivis yang menekankan pentingnya pengalaman langsung dalam membangun pengetahuan. Teknologi ini berfungsi sebagai jembatan antara representasi mental abstrak yang sulit dipahami siswa dengan bentuk konkret yang dapat mereka lihat, sentuh, dan manipulasi secara virtual. Dalam konteks pembelajaran sains, di mana banyak konsep seperti struktur molekul, pergerakan elektron, atau fenomena astronomi sulit divisualisasikan melalui metode tradisional, AR memberikan solusi dengan menciptakan representasi dinamis tiga dimensi yang dapat diinteraksikan. Hal ini sejalan dengan prinsip konstruktivisme dimana pengetahuan dibangun secara aktif oleh pembelajar melalui pengalaman sensorik dan kognitif yang bermakna (Chen, 2019).

Pendekatan konstruktivis melalui AR ini memungkinkan siswa untuk terlibat dalam proses penemuan aktif, di mana mereka dapat memanipulasi objek virtual, mengamati dari berbagai sudut pandang, dan melakukan eksperimen simulasi yang tidak mungkin dilakukan di laboratorium konvensional. Misalnya, ketika mempelajari struktur DNA, siswa tidak hanya melihat gambar dua dimensi di buku teks, tetapi dapat mengelilingi model tiga dimensi, memutar-mutarnya, dan melihat bagaimana komponen-komponen penyusunnya saling berhubungan. Pengalaman multisensorik semacam ini menciptakan jejak memori yang lebih kuat dalam otak siswa dibandingkan pembelajaran pasif, karena melibatkan lebih banyak modalitas indera dan pusat pemrosesan informasi di otak (Ibáñez & Delgado-Kloos, 2018).

Lebih jauh lagi, teknologi AR mendukung scaffolding pembelajaran dimana kompleksitas konsep dapat disesuaikan secara bertahap sesuai dengan tingkat pemahaman siswa. Seorang guru dapat memulai dengan menampilkan model dasar terlebih dahulu, kemudian secara progresif menambahkan lapisan informasi yang lebih kompleks seiring dengan meningkatnya pemahaman siswa. Fleksibilitas ini memungkinkan diferensiasi pembelajaran dimana siswa dengan kemampuan berbeda dapat mengeksplorasi konten pada tingkat kedalaman yang sesuai bagi mereka (Radu, 2014). Dalam perspektif Vygotskyian, AR berfungsi sebagai alat mediasi yang memungkinkan siswa untuk mencapai pemahaman konsep yang berada dalam zona perkembangan proksimal mereka - yaitu konsep-konsep yang belum dapat dipahami sendiri tetapi dapat dikuasai dengan bantuan alat dan bimbingan yang tepat.

Implementasi AR juga mengubah peran guru dari penyampai informasi utama menjadi fasilitator yang membimbing siswa dalam proses penemuan mandiri. Guru dapat lebih fokus pada pemantauan pemahaman individu siswa, mengajukan pertanyaan-pertanyaan pemandu, dan membantu menghubungkan pengalaman virtual dengan konsep ilmiah yang mendasarinya. Perubahan paradigma pembelajaran ini tidak hanya meningkatkan pemahaman konseptual tetapi juga mengembangkan keterampilan berpikir tingkat tinggi seperti analisis, evaluasi, dan sintesis. Siswa tidak hanya menghafal fakta tetapi belajar bagaimana fakta-fakta tersebut saling berhubungan dalam sistem yang kompleks (Safar et al., 2017).

Dampak psikologis dari pendekatan ini juga signifikan. Pengalaman belajar yang imersif dan interaktif melalui AR dapat meningkatkan motivasi intrinsik siswa terhadap sains. Ketika siswa merasa mampu memahami konsep-konsep yang sebelumnya dianggap sulit, kepercayaan diri mereka dalam mempelajari sains juga meningkat. Hal ini menciptakan siklus positif dimana pemahaman yang lebih baik menghasilkan minat yang lebih besar, yang pada gilirannya mendorong eksplorasi dan pemahaman yang lebih mendalam lagi.

Dalam jangka panjang, pendekatan pembelajaran berbasis AR ini berpotensi mengubah persepsi siswa terhadap sains dari mata pelajaran yang menakutkan menjadi bidang yang menarik dan dapat dipahami (Wu et al., 2013).

Namun, implementasi AR juga menghadapi beberapa tantangan. Beberapa siswa mengalami kesulitan awal dalam mengoperasikan aplikasi AR, menunjukkan bahwa diperlukan pelatihan singkat sebelum penggunaannya. Selain itu, guru menyatakan perlunya pengembangan konten AR yang lebih sesuai dengan kurikulum lokal, karena beberapa aplikasi yang tersedia belum sepenuhnya relevan dengan materi yang diajarkan (Yuen et al., 2011).

Dalam implementasi Augmented Reality (AR) di pembelajaran sains, ditemukan beberapa kendala di lapangan yang memengaruhi efektivitas penggunaannya. Salah satu masalah utama adalah keterbatasan perangkat dan infrastruktur, di mana beberapa sekolah tidak memiliki smartphone atau tablet yang memadai untuk menjalankan aplikasi AR. Selain itu, koneksi internet yang tidak stabil juga menjadi penghambat dalam pengunduhan konten AR. Masalah lain muncul dari kurangnya kesiapan guru dalam mengoperasikan teknologi ini. Banyak guru yang merasa kesulitan menggunakan AR dan mengintegrasikannya ke dalam Rencana Pelaksanaan Pembelajaran (RPP), terutama karena minimnya pelatihan sebelumnya (Zhou et al., 2008).

Konten AR yang tersedia juga seringkali tidak selaras dengan kurikulum lokal, baik karena terlalu sederhana atau justru terlalu kompleks untuk tingkat pemahaman siswa. Hal ini menimbulkan kesenjangan antara materi yang diajarkan melalui teknologi AR dengan kebutuhan pembelajaran yang sebenarnya di kelas. Banyak aplikasi AR yang dikembangkan secara global cenderung bersifat umum dan tidak mempertimbangkan karakteristik kurikulum spesifik di setiap daerah atau negara. Sebagai contoh, konten AR tentang sistem tata surya mungkin dirancang dengan pendekatan yang berbeda dari cara guru biasanya menjelaskan konsep tersebut sesuai dengan kurikulum nasional. Di sisi lain, beberapa konten AR justru menyajikan materi dengan tingkat kesulitan yang tidak sesuai, dimana ada yang terlalu dasar sehingga tidak memberikan nilai tambah pembelajaran, sementara lainnya terlalu teknis dan rumit sehingga justru membingungkan siswa daripada membantu pemahaman mereka (Cheng & Tsai, 2013).

Permasalahan ini semakin kompleks ketika dikaitkan dengan variasi kemampuan siswa di dalam satu kelas yang heterogen. Konten AR yang terlalu sederhana mungkin akan membosankan bagi siswa dengan kemampuan tinggi, sementara konten yang terlalu kompleks dapat membuat siswa yang kurang mampu merasa frustasi. Selain itu, masalah bahasa juga sering menjadi kendala, dimana banyak aplikasi AR berkualitas justru tidak tersedia dalam bahasa lokal, sehingga menyulitkan siswa yang belum mahir berbahasa asing. Tantangan lainnya adalah kurangnya penyesuaian konten AR dengan budaya lokal, dimana contoh dan analogi yang digunakan dalam aplikasi seringkali tidak relevan dengan konteks kehidupan sehari-hari siswa di lingkungan tertentu (Furió et al., 2013).

Untuk mengatasi masalah ketidaksesuaian konten AR ini, diperlukan pendekatan pengembangan yang lebih kolaboratif antara pengembang teknologi, ahli kurikulum, dan praktisi pendidikan. Pengembangan konten AR sebaiknya dimulai dari pemetaan kebutuhan pembelajaran spesifik berdasarkan kurikulum yang berlaku, kemudian dirancang dengan mempertimbangkan tingkat kognitif siswa pada jenjang pendidikan tertentu. Penting juga untuk menyertakan mekanisme adaptif dalam aplikasi AR yang memungkinkan penyesuaian tingkat kesulitan materi berdasarkan respon dan kemampuan pengguna (Kamarainen et al, 2013). Proses uji coba konten AR dengan melibatkan guru dan siswa secara langsung sebelum peluncuran luas dapat membantu mengidentifikasi dan memperbaiki ketidaksesuaian yang mungkin terjadi. Selain itu, pengembangan platform AR berbasis open-source dapat memungkinkan guru dan sekolah untuk memodifikasi konten sesuai kebutuhan lokal tanpa harus bergantung sepenuhnya pada pengembang komersial.. Beberapa aplikasi AR bahkan hanya menampilkan animasi pasif tanpa fitur eksplorasi mendalam, sehingga mengurangi interaktivitas yang seharusnya menjadi keunggulan utama teknologi ini.

Untuk mengatasi masalah keterbatasan perangkat, solusi yang d apat diusulkan adalah kolaborasi dengan pemerintah atau pihak swasta dalam penyediaan perangkat. Penggunaan AR berbasis marker-based yang tidak selalu membutuhkan koneksi internet juga bisa menjadi alternatif. Di sisi kesiapan guru, pelatihan khusus dan pengembangan modul pembelajaran AR dapat membantu meningkatkan kompetensi guru dalam memanfaatkan teknologi ini. Konten AR yang lebih kontekstual dapat dikembangkan dengan melibatkan guru dan ahli kurikulum, sementara fitur interaktif seperti simulasi eksperimen virtual atau elemen gamifikasi dapat ditambahkan untuk meningkatkan keterlibatan siswa (Sırakaya & Alsancak Sırakaya, 2022).

Temuan ini sejalan dengan penelitian terdahulu, seperti studi Radu (2014) yang mengidentifikasi keterbatasan infrastruktur sebagai hambatan utama dalam implementasi AR. Solusi penggunaan AR offline dan kerja sama dengan pihak eksternal juga didukung oleh penelitian tersebut. Sementara itu, Akçayır &

Akçayır (2017) menekankan pentingnya pelatihan guru untuk memastikan pemanfaatan AR yang optimal. Dengan memperhatikan masalah-masalah ini dan menerapkan solusi yang relevan, diharapkan integrasi AR dalam pembelajaran sains dapat berjalan lebih efektif dan memberikan manfaat maksimal bagi peningkatan pemahaman siswa.

Secara keseluruhan, penelitian ini memperkuat bukti bahwa AR dapat menjadi alat pembelajaran yang efektif dalam sains, khususnya untuk konsep-konsep yang memerlukan visualisasi kompleks. Namun, keberhasilannya sangat bergantung pada kesiapan infrastruktur, pelatihan guru, dan ketersediaan konten yang sesuai. Studi lebih lanjut dapat mengeksplorasi dampak jangka panjang penggunaan AR terhadap prestasi akademik siswa serta pengintegrasiannya dengan pendekatan pedagogis lainnya.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa Augmented Reality (AR) memiliki potensi signifikan dalam meningkatkan pemahaman konsep sains siswa di tingkat sekolah menengah. Teknologi ini berhasil memfasilitasi pembelajaran konsep-konsep abstrak melalui visualisasi tiga dimensi yang interaktif dan imersif, sejalan dengan prinsip teori pembelajaran konstruktivis yang menekankan pentingnya pengalaman langsung dalam membangun pengetahuan. Implementasi AR dalam pembelajaran sains terbukti mampu meningkatkan engagement siswa, memicu rasa ingin tahu, serta memperdalam pemahaman konseptual melalui pendekatan multisensorik. Siswa menunjukkan kemampuan yang lebih baik dalam memahami hubungan spasial dan proses dinamis dalam berbagai fenomena sains setelah berinteraksi dengan model AR. Namun demikian, keberhasilan implementasi ini sangat bergantung pada beberapa faktor kunci. Pertama, ketersediaan infrastruktur teknologi yang memadai dan konten AR yang sesuai dengan kurikulum lokal menjadi prasyarat penting. Kedua, kompetensi guru dalam mengintegrasikan AR ke dalam proses pembelajaran serta kemampuan melakukan scaffolding konseptual selama penggunaan teknologi ini turut menentukan efektivitasnya. Ketiga, desain konten AR perlu mempertimbangkan berbagai tingkat kemampuan siswa agar dapat memberikan manfaat optimal bagi seluruh peserta didik. Penelitian ini juga mengidentifikasi beberapa tantangan dalam implementasi AR, termasuk keterbatasan perangkat, kebutuhan pelatihan guru, serta pentingnya pengembangan konten yang kontekstual. Rekomendasi untuk penelitian selanjutnya mencakup pengembangan model integrasi AR yang lebih komprehensif, evaluasi dampak jangka panjang terhadap prestasi akademik, serta eksplorasi pemanfaatan AR untuk asesmen formatif dalam pembelajaran sains. Secara keseluruhan, temuan penelitian ini memperkuat posisi AR sebagai salah satu inovasi pedagogis yang menjanjikan dalam pendidikan sains abad 21. Dengan penyempurnaan terus-menerus dan pendekatan implementasi yang sistematis, AR berpotensi menjadi alat transformatif yang tidak hanya meningkatkan pemahaman konseptual tetapi juga menumbuhkan minat dan apresiasi yang lebih besar terhadap ilmu pengetahuan di kalangan siswa.

DAFTAR REFERENSI

Akçayır, M., & Akçayır, G. (2017). Advantages and challenges associated with augmented reality for education: A systematic review of the literature. *Educational Research Review, 20*, 1-11. https://doi.org/10.1016/j.edurev.2016.11.002

Billinghurst, M., Kato, H., & Poupyrev, I. (2001). The MagicBook: A transitional AR interface. *Computers & Graphics, 25*(5), 745-753. https://doi.org/10.1016/S0097-8493(01)00117-0

Cai, S., Wang, X., & Chiang, F.-K. (2014). A case study of Augmented Reality simulation system application in a chemistry course. *Computers in Human Behavior, 37*, 31-40. https://doi.org/10.1016/j.chb.2014.04.018

Chen, Y.-C. (2019). Effect of mobile augmented reality on learning performance, motivation, and math anxiety in a math course. *Journal of Educational Computing Research, 57*(7), 1695-1722. https://doi.org/10.1177/0735633119854036

Cheng, K.-H., & Tsai, C.-C. (2013). Affordances of augmented reality in science learning: Suggestions for future research. *Journal of Science Education and Technology, 22*(4), 449-462. https://doi.org/10.1007/s10956-012-9405-9
(Studi tentang pemanfaatan AR dalam pembelajaran sains dan rekomendasi penelitian lanjutan)

Furió, D., González-Gancedo, S., Juan, M.-C., Seguí, I., & Rando, N. (2013). Evaluation of learning outcomes using an educational iPhone game vs. traditional game. *Computers & Education, 64*, 1-23. https://doi.org/10.1016/j.compedu.2012.12.001
(Perbandingan efektivitas pembelajaran berbasis game mobile vs. metode tradisional)

Ibáñez, M.-B., & Delgado-Kloos, C. (2018). Augmented reality for STEM learning: A systematic review. *Computers & Education, 123*, 109-123. https://doi.org/10.1016/j.compedu.2018.05.002

Kamarainen, A. M., Metcalf, S., Grotzer, T., Browne, A., Mazzuca, D., Tutwiler, M. S., & Dede, C. (2013). EcoMOBILE: Integrating augmented reality and probeware with environmental education field trips. *Computers & Education, 68*, 545-556. https://doi.org/10.1016/j.compedu.2013.02.018 *(Implementasi AR dalam pembelajaran lingkungan berbasis lapangan)*

Kurniawan, A. T. ., Anzelina, D. ., Maq, M. M., Wahyuni, L. ., Rukhmana, T. ., & Ikhlas, A. . (2024). Pengembangan Pendidikan Anak SD dalam Kurikulum Merdeka. *Journal Of Human And Education (JAHE)*, *4*(4), 836–843. https://doi.org/10.31004/jh.v4i4.1349.

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

Safar, A. H., Al-Jafar, A. A., & Al-Yousefi, Z. H. (2017). The effectiveness of using augmented reality apps in teaching the English alphabet to kindergarten children: A case study in the State of Kuwait. *EURASIA Journal of Mathematics, Science and Technology Education, 13*(2), 417-440. https://doi.org/10.12973/eurasia.2017.00624a

Sırakaya, M., & Alsancak Sırakaya, D. (2022). Augmented reality in STEM education: A systematic review. *Interactive Learning Environments, 30*(8), 1556-1569. https://doi.org/10.1080/10494820.2020.1722713 *(Tinjauan sistematis tentang pemanfaatan AR dalam pendidikan STEM)*.

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

Yuen, S. C.-Y., Yaoyuneyong, G., & Johnson, E. (2011). Augmented reality: An overview and five directions for AR in education. *Journal of Educational Technology Development and Exchange, 4*(1), 119-140. https://doi.org/10.18785/jetde.0401.10

Zhou, F., Duh, H. B.-L., & Billinghurst, M. (2008). Trends in augmented reality tracking, interaction and display: A review of ten years of ISMAR. Proceedings of the 7th IEEE/ACM International Symposium on Mixed and Augmented Reality, 193-202. https://doi.org/10.1109/ISMAR.2008.4637362.