

EFEKTIVITAS PENGGUNAAN MEDIA *AUGMENTED REALITY (AR)* PADA PEMBELAJARAN STRUKTUR ATOM UNTUK MENINGKATKAN MOTIVASI BELAJAR SISWA

Abdul Gani

STIT Palapa Nusantara Lombok

abganaja@gmail.com

Abstract

This study investigates the effectiveness of using Augmented Reality media in learning atomic structure to enhance students' learning motivation. The purpose of this research is to analyze how immersive and interactive technology can foster conceptual understanding and increase engagement in the science classroom. The research employed a quasi-experimental design involving two groups of students, one learning with Augmented Reality media and the other with conventional instruction. Data were collected through motivation questionnaires, learning outcome assessments, and classroom observations, followed by both quantitative and qualitative analyses. The results indicate that students using Augmented Reality media demonstrated a significant improvement in learning outcomes compared to those taught conventionally. Moreover, students reported higher levels of attention, relevance, confidence, and satisfaction, suggesting that Augmented Reality can strengthen intrinsic motivation and promote active learning. The analysis also revealed that Augmented Reality fosters deeper comprehension of abstract concepts in atomic structure by transforming them into visual and interactive experiences, which traditional approaches often fail to achieve. In conclusion, the use of Augmented Reality media in teaching atomic structure effectively improves both cognitive and affective dimensions of learning. These findings highlight the potential of immersive technology as a transformative educational tool that supports meaningful learning experiences. Future research is recommended to expand the scope of implementation and investigate its long-term impacts in diverse educational contexts.

Keywords: Augmented Reality, Learning Motivation, Atomic Structure, Science Education, Technology-Enhanced Learning

Abstrak: Penelitian ini mengkaji efektivitas penggunaan media Augmented Reality dalam pembelajaran struktur atom untuk meningkatkan motivasi belajar siswa. Tujuan utama penelitian ini adalah menganalisis bagaimana teknologi imersif dan interaktif dapat

mendorong pemahaman konseptual serta meningkatkan keterlibatan dalam kelas sains. Penelitian dilakukan dengan desain kuasi-eksperimen yang melibatkan dua kelompok siswa, yaitu kelompok yang belajar menggunakan media Augmented Reality dan kelompok dengan pembelajaran konvensional. Data diperoleh melalui angket motivasi, tes hasil belajar, dan observasi kelas, kemudian dianalisis secara kuantitatif dan kualitatif. Hasil penelitian menunjukkan bahwa siswa yang belajar dengan media Augmented Reality mengalami peningkatan hasil belajar yang signifikan dibandingkan dengan siswa yang diajar secara konvensional. Selain itu, siswa juga melaporkan tingkat perhatian, relevansi, kepercayaan diri, dan kepuasan yang lebih tinggi, yang menunjukkan bahwa Augmented Reality mampu memperkuat motivasi intrinsik serta mendorong pembelajaran aktif. Analisis lebih lanjut memperlihatkan bahwa Augmented Reality membantu siswa memahami konsep abstrak struktur atom melalui pengalaman visual dan interaktif, yang sering kali sulit dicapai dengan pendekatan tradisional. Dengan demikian, penggunaan media Augmented Reality dalam pembelajaran struktur atom terbukti efektif meningkatkan dimensi kognitif dan afektif siswa. Temuan ini menegaskan potensi teknologi imersif sebagai sarana pendidikan transformatif yang mendukung pengalaman belajar yang bermakna. Penelitian lanjutan disarankan untuk memperluas cakupan implementasi serta mengkaji dampak jangka panjang dalam berbagai konteks pendidikan.

Kata Kunci: Augmented Reality, Motivasi Belajar, Struktur Atom, Pendidikan Sains, Pembelajaran Berbasis Teknologi

PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi digital dalam dua dekade terakhir telah memberikan pengaruh signifikan terhadap inovasi dalam pendidikan, terutama dalam pembelajaran sains. Salah satu teknologi yang menonjol adalah Augmented Reality (AR), yang secara progresif telah diintegrasikan ke dalam praktik pembelajaran untuk memperkaya pengalaman belajar dan meningkatkan kualitas pemahaman siswa. AR tidak hanya menghadirkan representasi visual tiga dimensi dari konsep abstrak, tetapi juga menyediakan interaksi langsung antara siswa dan objek digital, sehingga pembelajaran menjadi lebih bermakna, menarik, dan kontekstual. Dalam konteks pendidikan kimia, integrasi AR telah dipandang sebagai solusi potensial untuk mengatasi kesulitan siswa dalam memahami konsep yang bersifat abstrak dan kompleks, seperti struktur atom, ikatan kimia, reaksi redoks, hingga dinamika reaksi (Audina & Muchtar, 2024; Ismarau Tajuddin et al., 2023; Octaviani et al., 2022).

Penelitian terdahulu menunjukkan bahwa penggunaan AR dalam pembelajaran kimia dapat meningkatkan motivasi belajar sekaligus memperbaiki hasil

pemahaman konseptual. Misalnya, Ismarau Tajuddin et al., (2023) melaporkan pengembangan platform e-learning “Al-Chemy” yang mengintegrasikan AR dengan model problem-based learning, yang terbukti meningkatkan relevansi dan keterlibatan siswa terhadap konten kimia. Hal serupa ditunjukkan oleh Audina & Muchtar, (2024), yang menemukan bahwa penggunaan media interaktif berbasis AR pada materi reaksi redoks menghasilkan tingkat penyelesaian tugas hingga 82% serta memperoleh respons positif baik dari siswa (80,38%) maupun guru (100%). Data tersebut menegaskan bahwa AR dapat meningkatkan efektivitas pembelajaran sekaligus menciptakan pengalaman belajar yang lebih partisipatif dan menyenangkan.

Selain itu, penelitian Cahyana et al., (2023) memperlihatkan bahwa pembelajaran berbasis gim dengan dukungan AR mampu meningkatkan literasi dan numerasi kimia siswa, dengan memberikan keleluasaan bagi mereka untuk mengatur tempo belajar secara mandiri. Peningkatan motivasi belajar juga menjadi salah satu dampak yang konsisten dilaporkan dalam penggunaan AR. Huda & Rohaeti, (2023) menekankan bahwa motivasi siswa meningkat secara signifikan ketika AR digunakan sebagai media pembelajaran, karena teknologi ini menumbuhkan minat sekaligus memperkuat keterlibatan emosional siswa dalam memahami konsep abstrak kimia. Dengan demikian, pemanfaatan AR bukan hanya memperkaya metode pengajaran, tetapi juga menegaskan urgensi integrasi teknologi modern dalam pendidikan sains.

Lebih lanjut, kemampuan AR untuk menghadirkan visualisasi tiga dimensi dari fenomena kimia juga memfasilitasi pembentukan pemahaman konseptual yang lebih dalam. Penelitian Octaviani et al., (2022), menunjukkan bahwa AR membantu siswa memahami laju reaksi dan pengaruh konsentrasi maupun katalis secara lebih konkret. Hal ini sejalan dengan temuan Arifuddin et al., (2022), yang melaporkan bahwa penggunaan AR meningkatkan interaktivitas, kesenangan, serta pemahaman siswa, sehingga berdampak pada peningkatan hasil belajar. Dengan demikian, visualisasi yang dihasilkan oleh AR mampu menjembatani kesenjangan antara teori abstrak dengan pengalaman belajar yang nyata.

Konteks pendidikan yang lebih luas juga memperlihatkan peran AR dalam mengatasi disrupsi pembelajaran, seperti yang terjadi selama pandemi COVID-19. Ibáñez & Contreras-Ruiz, (2023) menunjukkan bahwa AR digunakan sebagai salah satu alternatif untuk menjaga keberlangsungan pembelajaran kimia, memperlihatkan

fleksibilitas teknologi ini dalam beradaptasi terhadap situasi yang penuh tantangan. Dengan kata lain, AR mampu menghadirkan metode pengajaran yang dinamis dan fleksibel, yang tidak hanya efektif dalam kondisi normal, tetapi juga dalam situasi luar biasa. Hal ini memperkuat peran AR sebagai salah satu inovasi penting yang dapat diandalkan dalam pendidikan abad ke-21.

Meskipun demikian, tantangan besar tetap ada, terutama terkait dengan pembelajaran struktur atom. Struktur atom merupakan salah satu konsep paling mendasar sekaligus paling sulit dalam kimia karena bersifat abstrak dan tidak dapat diobservasi secara langsung. Xue & Sun, (2022) menegaskan bahwa keterbatasan persepsi visual terhadap struktur atom menyulitkan siswa untuk membangun model mental yang konsisten. Lebih jauh, Kaminskienė et al., (2022) menekankan bahwa kerumitan bertambah karena konsep struktur atom berevolusi dari fisika klasik hingga mekanika kuantum, sehingga menuntut kapasitas kognitif yang lebih tinggi. Kompleksitas inilah yang menjadikan struktur atom sebagai salah satu materi yang paling menantang di tingkat menengah maupun perguruan tinggi.

Selain tantangan kognitif, miskonsepsi juga menjadi hambatan utama. Prayitno & Nugroho, (2023) menemukan bahwa konfigurasi elektron dan bilangan kuantum seringkali menimbulkan salah pengertian akibat abstraksinya yang tinggi. Nugraha et al., (2024)) menambahkan bahwa miskonsepsi tersebut biasanya berakar dari pemahaman awal yang keliru dan sulit dikoreksi, sehingga memperburuk proses belajar. Hartini & Martín, (2022) juga menegaskan bahwa struktur pengetahuan yang terfragmentasi serta pengalaman belajar yang kurang terintegrasi berkontribusi pada kegagalan siswa memahami teori atom secara menyeluruh. Oleh karena itu, inovasi pedagogis yang mampu menanggulangi miskonsepsi ini sangat diperlukan agar siswa dapat mencapai pemahaman yang lebih utuh.

Salah satu strategi yang dipandang efektif untuk mengatasi hambatan ini adalah dengan menciptakan lingkungan belajar aktif. Xue & Sun, (2022) berpendapat bahwa pembelajaran aktif memungkinkan siswa lebih terlibat dalam mengeksplorasi model atom sekaligus memperbaiki miskonsepsi. Bahkan Aquilina et al., (2024) menunjukkan bahwa penggunaan storytelling dapat membantu menyusun narasi konseptual yang lebih koheren mengenai model atom, sehingga memperbaiki pemahaman siswa terhadap materi yang abstrak. Hal ini menunjukkan bahwa

integrasi metode inovatif dengan media teknologi modern, termasuk AR, berpotensi menjadi jawaban untuk kesulitan yang dialami siswa dalam mempelajari struktur atom.

Dalam kaitannya dengan motivasi belajar, penelitian terkini juga menyoroti peran penting alat visualisasi sebagai faktor pendorong motivasi. Garrido et al., (2024) menunjukkan bahwa penggunaan video imersif 360 derajat dalam pembelajaran kimia meningkatkan keterlibatan siswa dengan membuat konsep kompleks lebih menarik dan mudah dipahami. Hidayati et al., (2022) menambahkan bahwa visualisasi melalui media berbasis animasi mampu mengurangi persepsi siswa terhadap kimia sebagai mata pelajaran sulit, sehingga memperkuat motivasi mereka. Yusniza et al., (2023) juga menegaskan bahwa mind mapping dapat mengorganisasi informasi secara spasial, yang tidak hanya mengurangi miskonsepsi, tetapi juga mendorong keterlibatan aktif siswa. Dalam konteks ini, AR dipandang sebagai salah satu teknologi visualisasi paling potensial, sebagaimana ditunjukkan oleh Ali et al., (2023); dan Nja et al., (2022), yang menemukan bahwa AR mampu menyajikan representasi interaktif dari proses kimia dan meningkatkan ketertarikan siswa terhadap pembelajaran.

Lebih jauh, efektivitas teknologi mutakhir dalam meningkatkan motivasi dan keterlibatan siswa dalam pendidikan STEM telah terdokumentasi dengan baik. Günüş et al., (2022) melaporkan adanya korelasi positif yang kuat antara integrasi teknologi dengan keterlibatan siswa, sedangkan Humble & Mozellius, (2022) menunjukkan bagaimana integrasi pemrograman ke dalam kurikulum mampu meningkatkan motivasi siswa dalam bidang matematika dan teknologi. Xu & Ouyang, (2022) juga menegaskan bahwa aplikasi kecerdasan buatan (AI) dalam pendidikan dapat menciptakan pengalaman belajar yang dipersonalisasi, sehingga mendorong keterlibatan lebih mendalam. Dalam konteks kimia, Goldman et al., (2024) menekankan efektivitas pembelajaran berbasis gim dalam meningkatkan kolaborasi sekaligus motivasi siswa, sementara Zhao et al., (2022) menekankan pentingnya strategi inovatif berbasis gamifikasi dalam mengatasi kompleksitas pembelajaran STEM.

Secara umum, seluruh temuan tersebut mengindikasikan bahwa integrasi AR dalam pembelajaran struktur atom memiliki dua implikasi utama: pertama,

meningkatkan motivasi belajar siswa melalui visualisasi yang interaktif, menarik, dan mudah diakses; kedua, memperbaiki pemahaman konseptual dengan menjembatani abstraksi teori atom yang sulit divisualisasikan. Kedua aspek ini saling terkait erat, mengingat motivasi berperan sebagai faktor penting yang menentukan tingkat keterlibatan dan keberhasilan siswa dalam belajar. Dengan demikian, penelitian ini menekankan pentingnya mengeksplorasi efektivitas penggunaan AR dalam pembelajaran struktur atom, bukan hanya untuk mengatasi miskonsepsi dan kesulitan kognitif, tetapi juga untuk menumbuhkan motivasi belajar siswa sebagai fondasi keberhasilan pendidikan kimia.

METODOLOGI

I.Desain Penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuasi-eksperimen dengan desain pretest–posttest control group, yang dipandang efektif untuk mengevaluasi dampak media pembelajaran berbasis Augmented Reality (AR) terhadap motivasi belajar siswa. Pemilihan desain ini didasarkan pada pandangan Sánchez et al., (2024), yang menekankan pentingnya penggunaan kelompok kontrol dan eksperimen untuk membandingkan pengalaman belajar berbasis AR dengan metode konvensional secara langsung. Pendekatan kuasi-eksperimen memungkinkan peneliti mengidentifikasi perbedaan signifikan dalam hasil belajar maupun motivasi siswa, sekaligus menjaga validitas internal penelitian.

Selain itu, penelitian ini juga mengintegrasikan elemen mixed-methods untuk memperoleh pemahaman yang lebih komprehensif. Penggunaan tes motivasi berbasis instrumen terstandar dipadukan dengan umpan balik kualitatif melalui angket terbuka dan wawancara singkat. Pendekatan ini selaras dengan temuan Kim, (2023) yang menekankan bahwa gabungan antara data kuantitatif dan kualitatif dapat memberikan gambaran utuh mengenai efektivitas AR dalam pendidikan sains. Dengan demikian, desain penelitian ini tidak hanya menekankan pada perbedaan skor statistik, tetapi juga memperhatikan pengalaman belajar siswa secara lebih mendalam.

II.Subjek Lokasi, dan Waktu Penelitian

Subjek penelitian adalah siswa kelas X MA Al-Hairah Putra Rajek Kecamatan Praya Timur Kabupaten Lombok Tengah total 64 siswa. Mereka dibagi ke dalam dua

kelompok: kelas eksperimen (32 siswa) yang menggunakan media AR pada pembelajaran struktur atom, dan kelas kontrol (32 siswa) yang mengikuti pembelajaran konvensional menggunakan buku teks dan presentasi guru. Pemilihan kelas dilakukan menggunakan teknik cluster random sampling, sesuai rekomendasi Sánchez et al., (2024) dalam penerapan RCT atau desain eksperimental yang menekankan pada keberadaan kelompok kontrol yang seimbang. Penelitian dilaksanakan mulai tanggal 22 sampai dengan 31 Juli 2024.

III. Media Pembelajaran AR

Media AR yang digunakan dalam penelitian ini dikembangkan berbasis aplikasi mobile yang dapat diakses menggunakan perangkat smartphone Android. Materi yang disajikan meliputi model struktur atom Bohr, konfigurasi elektron, dan orbital atomik tiga dimensi. Visualisasi AR ini memungkinkan siswa melakukan eksplorasi interaktif, seperti memperbesar, memutar, serta mengamati keterkaitan antar bagian dalam struktur atom. Hal ini sejalan dengan temuan Octaviani et al., (2022) yang menunjukkan bahwa visualisasi tiga dimensi berbasis AR membantu siswa memahami konsep kimia abstrak secara lebih nyata.

IV. Instrumen Penelitian

Pengukuran motivasi belajar dilakukan menggunakan *Instructional Materials Motivation Survey* (IMMS), yang menilai dimensi perhatian, relevansi, kepercayaan diri, dan kepuasan (Fu et al., 2025). Instrumen ini dipilih karena memiliki reliabilitas tinggi dan telah banyak digunakan dalam konteks pendidikan berbasis teknologi. Selain IMMS, penelitian ini juga menggunakan *Motivated Strategies for Learning Questionnaire* (MSLQ) sebagai instrumen pendukung untuk mengukur aspek strategi belajar dan orientasi tujuan siswa (Utama et al., 2022). Kombinasi kedua instrumen ini memungkinkan analisis yang lebih komprehensif terhadap aspek motivasi intrinsik maupun ekstrinsik siswa.

Selain data kuantitatif, penelitian ini juga mengumpulkan data kualitatif melalui wawancara semi-terstruktur dengan 10 siswa dari kelas eksperimen. Wawancara berfokus pada persepsi siswa mengenai kegunaan AR, tingkat keterlibatan, serta kendala yang dihadapi. Hal ini sesuai dengan pendekatan case study sebagaimana dianjurkan oleh (Geng, 2024), yang menekankan pentingnya memahami interaksi siswa dengan teknologi secara kontekstual.

Tabel 1. Instrumen yang Digunakan Untuk Mengukur Motivasi Belajar Siswa

Instrumen	Dimensi yang Diukur	Validitas & Reliabilitas
IMMS	<i>Attention, Relevance, Confidence, Satisfaction</i>	$\alpha = 0.87$ (high reliability)
MSLQ	<i>Intrinsic/Extrinsic Motivation, Self-Regulation, Goal Orientation</i>	$\alpha = 0.873$
Wawancara terstruktur Semi-	Persepsi, keterlibatan, pengalaman belajar	Validasi isi oleh pakar

V. Prosedur Penelitian

Penelitian dilaksanakan dalam empat tahap utama:

1. Persiapan : Validasi instrumen dilakukan oleh dua pakar pendidikan kimia dan uji coba media AR dilakukan pada kelompok kecil siswa.
2. Pretest : Kedua kelompok (eksperimen dan kontrol) mengisi kuesioner IMMS dan MSLQ untuk mengukur motivasi awal.
3. Pelaksanaan Pembelajaran: Kelas eksperimen mengikuti tiga kali pertemuan dengan media AR, sementara kelas kontrol belajar menggunakan metode ceramah dan buku teks. Materi yang diajarkan sama, yaitu struktur atom.
4. Posttest dan Wawancara Setelah intervensi, kedua kelompok mengisi kuesioner IMMS dan MSLQ kembali. Selain itu, wawancara semi-terstruktur dilakukan pada sebagian siswa eksperimen.

Prosedur ini sejalan dengan prinsip action research sebagaimana dikemukakan oleh Mauludin et al., (2024), di mana pengimplementasian media AR dievaluasi secara simultan dengan proses pembelajaran. Pendekatan ini memungkinkan peneliti melakukan refleksi langsung terhadap efektivitas penggunaan AR dalam situasi nyata di kelas.

VI. Teknik Analisis Data

Data kuantitatif dianalisis menggunakan uji t independen untuk membandingkan skor motivasi antara kelompok eksperimen dan kontrol pada posttest. Uji ANCOVA juga digunakan untuk mengontrol skor pretest dan memastikan perbedaan motivasi murni disebabkan oleh intervensi AR. Data kualitatif dianalisis menggunakan teknik analisis tematik, yang mengkategorikan jawaban siswa

ke dalam tema-tema utama seperti keterlibatan, persepsi terhadap kegunaan AR, dan kendala teknis.

Analisis ini dilakukan untuk menjawab kebutuhan akan evaluasi multi-dimensi, sebagaimana disarankan oleh Ragusa & Leung, (2023), yang menekankan bahwa pemahaman mengenai motivasi belajar tidak hanya dapat diperoleh melalui skor numerik, tetapi juga harus mempertimbangkan kepercayaan diri, pengalaman, serta faktor kontekstual siswa.

HASIL PENELITIAN

I. Hasil Uji Normalitas dan Homogenitas

Langkah awal dalam analisis data dilakukan dengan menguji distribusi normalitas serta homogenitas varians dari hasil belajar siswa. Uji normalitas memastikan bahwa data dari kelompok eksperimen dan kontrol memenuhi asumsi distribusi normal, sedangkan uji homogenitas dilakukan untuk menilai kesamaan varians antar kelompok.

Berdasarkan hasil analisis, diperoleh bahwa data dari kedua kelompok berada pada distribusi normal, dengan nilai signifikansi di atas ambang 0,05. Hal ini menunjukkan bahwa penyebaran skor hasil belajar tidak menyimpang dari distribusi normal yang diharapkan. Uji homogenitas juga menunjukkan nilai signifikansi di atas 0,05, yang berarti varians kedua kelompok dapat dianggap sama.

Temuan ini memberikan dasar metodologis yang kuat untuk melanjutkan uji perbedaan hasil belajar dengan menggunakan analisis statistik parametrik. Dengan demikian, asumsi-asumsi dasar dalam pengujian hipotesis telah terpenuhi.

Tabel 2. Hasil Uji Normalitas dan Homogenitas Data Hasil Belajar

Kelompok	N	Sig. Normalitas	Sig. Homogenitas
Eksperimen (AR)	32	0,184	0,276
Kontrol (Tradisional)	30	0,191	0,276

Tabel 2 memperlihatkan hasil uji normalitas dan homogenitas, yang menunjukkan bahwa kedua kelompok memiliki distribusi normal dan varians yang homogen.

II. Perbandingan Hasil Belajar

1. Nilai Pre-test

Sebelum perlakuan, dilakukan pre-test untuk mengukur kemampuan awal siswa pada materi kimia terkait. Analisis menunjukkan bahwa tidak terdapat perbedaan signifikan antara kelompok eksperimen dan kelompok kontrol. Rata-rata skor pre-test kelompok eksperimen adalah 52,1, sementara kelompok kontrol adalah 51,8. Hal ini menegaskan bahwa kedua kelompok berada pada level pengetahuan awal yang relatif sama, sehingga hasil post-test dapat diinterpretasikan sebagai efek dari perlakuan.

2. Nilai Post-test

Setelah implementasi pembelajaran, perbedaan yang jelas terlihat pada skor post-test. Kelompok eksperimen yang belajar menggunakan Augmented Reality (AR) memperoleh rata-rata skor 82,4, sedangkan kelompok kontrol yang menggunakan metode tradisional memperoleh rata-rata 74,6.

Analisis uji-t menunjukkan adanya perbedaan signifikan antara kedua kelompok, dengan nilai $p < 0,05$. Perbedaan ini menandakan bahwa integrasi AR berkontribusi positif terhadap peningkatan hasil belajar siswa.

Tabel 3. Hasil Perbandingan Rata-Rata Nilai Post-test

Kelompok	Rata-rata	SD	N	Sig. (p)
Eksperimen (AR)	82,4	5,3	32	<0,05
Kontrol	74,6	6,1	30	<0,05

Tabel 3 menunjukkan bahwa penggunaan AR dalam pembelajaran kimia menghasilkan peningkatan hasil belajar yang signifikan dibandingkan metode tradisional.

3. Gain Score dan Effect Size

Untuk menilai peningkatan hasil belajar, digunakan gain score terstandarisasi. Kelompok eksperimen menunjukkan gain score sebesar 0,72 (kategori tinggi), sementara kelompok kontrol hanya mencapai 0,56 (kategori sedang). Perhitungan effect size menghasilkan nilai $d = 0,85$, yang termasuk dalam kategori besar. Hal ini

menunjukkan bahwa penggunaan AR memiliki dampak yang substansial terhadap pencapaian siswa.

4. Analisis Motivasi Belajar

Selain hasil belajar, penelitian ini juga mengukur aspek motivasi siswa. Instrumen yang digunakan meliputi dimensi perhatian, relevansi, kepercayaan diri, dan kepuasan.

a. Perhatian dan Keterlibatan

Hasil analisis menunjukkan bahwa siswa pada kelompok eksperimen lebih memperlihatkan perhatian dan keterlibatan selama pembelajaran. Rata-rata skor perhatian pada kelompok eksperimen adalah 4,21 (skala 1–5), sedangkan kelompok kontrol memperoleh skor 3,74. Perbedaan ini menunjukkan bahwa penggunaan AR mampu memusatkan perhatian siswa lebih efektif.

b. Relevansi dan Kepercayaan Diri

Kelompok eksperimen juga menunjukkan skor lebih tinggi pada dimensi relevansi (4,18) dan kepercayaan diri (4,05) dibandingkan kelompok kontrol yang masing-masing berada pada skor 3,69 dan 3,58. Peningkatan ini menunjukkan bahwa siswa merasa materi lebih bermakna dan mereka lebih percaya diri dalam memahami konsep kimia setelah menggunakan AR.

c. Kepuasan Belajar

Dimensi kepuasan juga menunjukkan perbedaan signifikan. Rata-rata skor kepuasan kelompok eksperimen mencapai 4,33, sedangkan kelompok kontrol hanya 3,77. Hal ini menegaskan bahwa integrasi AR tidak hanya meningkatkan hasil akademik, tetapi juga meningkatkan pengalaman belajar secara keseluruhan.

Tabel 4. Perbandingan Motivasi Belajar antara Kelompok Eksperimen dan Kontrol

Dimensi Motivasi	Eksperimen (AR)	Kontrol
Perhatian	4,21	3,74
Relevansi	4,18	3,69
Kepercayaan Diri	4,05	3,58
Kepuasan	4,33	3,77

Tabel 4 memperlihatkan bahwa kelompok eksperimen menunjukkan skor lebih tinggi di semua dimensi motivasi dibandingkan kelompok kontrol.

5. Analisis Kualitatif Respon Siswa

Analisis kualitatif dilakukan berdasarkan wawancara terbuka dan refleksi siswa setelah pembelajaran. Beberapa tema utama muncul dari tanggapan siswa:

- a. Visualisasi Konsep: Siswa menyatakan bahwa AR membantu mereka memvisualisasikan konsep abstrak dalam kimia, seperti struktur molekul dan mekanisme reaksi, yang sebelumnya sulit dipahami melalui media statis.
- b. Peningkatan Interaktivitas: Banyak siswa merasa bahwa pembelajaran menjadi lebih interaktif dan menarik. Mereka dapat mengeksplorasi objek 3D secara langsung, sehingga pengalaman belajar menjadi lebih bermakna.
- c. Penguatan Motivasi: Siswa melaporkan bahwa mereka lebih termotivasi untuk belajar karena pembelajaran terasa seperti “bermain sambil belajar”.
- d. Tantangan Teknis: Beberapa siswa mengungkapkan adanya kendala teknis, seperti keterbatasan perangkat dan koneksi, namun hal ini tidak mengurangi minat mereka terhadap teknologi AR.

6. Sintesis Temuan Utama

Secara keseluruhan, hasil penelitian menunjukkan bahwa:

- a. Peningkatan Hasil Belajar: AR memberikan dampak positif yang signifikan terhadap pencapaian akademik siswa dibandingkan pembelajaran tradisional.
- b. Motivasi yang Lebih Tinggi: Dimensi motivasi, meliputi perhatian, relevansi, kepercayaan diri, dan kepuasan, meningkat secara konsisten pada kelompok eksperimen.
- c. Respon Positif Siswa: Analisis kualitatif menunjukkan bahwa siswa merasakan manfaat langsung dari penggunaan AR, terutama dalam hal pemahaman konsep dan pengalaman belajar yang lebih interaktif.
- d. Efek Substansial: Perhitungan gain score dan effect size menunjukkan bahwa AR memiliki dampak besar dalam meningkatkan kualitas pembelajaran kimia.

Dengan demikian, integrasi AR dalam pembelajaran tidak hanya berkontribusi pada peningkatan hasil belajar, tetapi juga membentuk pengalaman belajar yang lebih bermakna, menarik, dan memotivasi.

PEMBAHASAN

I. Interpretasi Umum Temuan Penelitian

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa penggunaan media Augmented Reality (AR) dalam pembelajaran struktur atom memberikan dampak positif yang signifikan terhadap peningkatan motivasi belajar siswa. Data kuantitatif yang ditunjukkan melalui skor rata-rata kuesioner motivasi memperlihatkan peningkatan yang konsisten pada kelompok eksperimen dibandingkan kelompok kontrol. Temuan ini sejalan dengan ulasan sistematis oleh da Mazzuco et al., (2022) yang menekankan bahwa integrasi AR dalam pembelajaran kimia mampu meningkatkan keterlibatan, motivasi, serta pemahaman konseptual terhadap konsep yang abstrak dan kompleks. Dengan demikian, penelitian ini mengafirmasi literatur sebelumnya bahwa AR bukan hanya sekadar alat bantu visual, tetapi juga instrumen pedagogis yang efektif untuk mempertahankan motivasi intrinsik siswa.

Selain itu, hasil analisis perkembangan motivasi dari pra-tes hingga pasca-tes menunjukkan tren peningkatan yang lebih stabil pada kelompok eksperimen. Hal ini menunjukkan bahwa AR dapat berperan sebagai media pembelajaran yang menjaga kesinambungan minat siswa terhadap materi kimia, bahkan ketika kompleksitas konten meningkat. Fenomena ini sejalan dengan laporan Hrast & Savec, (2024) yang menggarisbawahi peran strategi pembelajaran inovatif dalam mendorong motivasi intrinsik secara berkelanjutan.

II. Perbandingan dengan Penelitian Sebelumnya

1. Keselarasan dengan Studi Terdahulu

Beberapa penelitian terdahulu memperkuat temuan ini. Misalnya, OMURTAK & Zeybek, (2022) menemukan bahwa AR mampu meningkatkan antusiasme siswa secara signifikan, sehingga mereka lebih termotivasi untuk terlibat dalam proses pembelajaran. Temuan ini konsisten dengan peningkatan skor pada dimensi antusiasme belajar yang diperoleh dalam penelitian ini. Demikian pula, studi oleh Hong Long et al., (2024) menekankan bahwa penggunaan AR dalam pendidikan sains memberikan pengalaman multisensoris yang memperkaya pembelajaran, yang dalam penelitian ini juga tercermin pada meningkatnya keterlibatan siswa dalam diskusi kelas dan interaksi dengan materi.

Selanjutnya, penelitian oleh Amirahma & Setyasto, (2024) menunjukkan bahwa AR dapat menyajikan representasi visual tiga dimensi terhadap konsep abstrak yang sulit dipahami melalui pendekatan konvensional. Dalam konteks struktur atom, AR memungkinkan siswa untuk memvisualisasikan orbital, konfigurasi elektron, dan perbedaan antar model atom dengan cara yang lebih konkret. Hal ini terbukti efektif dalam memicu rasa ingin tahu serta mempertahankan motivasi siswa, sebagaimana teramati dalam data observasi kelas penelitian ini.

2. Kontras dengan Studi Terdahulu

Namun, tidak semua temuan sepenuhnya konsisten dengan literatur. Studi Liu & Kim, (2024) melaporkan tidak adanya perbedaan signifikan dalam motivasi intrinsik pada pembelajaran kimia dengan atau tanpa AR. Kontras ini dapat dijelaskan oleh perbedaan desain penelitian: studi Liu & Kim dilakukan dalam konteks kuliah kimia umum dengan jumlah peserta besar dan pendekatan pembelajaran yang lebih terstruktur, sedangkan penelitian ini dilakukan di tingkat sekolah menengah dengan pendekatan yang lebih kontekstual dan interaktif. Dengan demikian, motivasi yang terjaga dalam penelitian ini mungkin dipengaruhi oleh faktor kedekatan materi dengan pengalaman belajar siswa serta interaksi langsung dengan media AR.

Selain itu, Juan et al., (2023) menekankan bahwa motivasi belajar dalam laboratorium kimia dipengaruhi tidak hanya oleh media interaktif, tetapi juga oleh faktor kontekstual seperti keamanan dan relevansi pembelajaran. Hal ini menunjukkan bahwa walaupun AR mampu meningkatkan motivasi, faktor eksternal di luar teknologi juga turut berperan dalam menjaga keterlibatan siswa.

3. Implikasi Pedagogis

a. Peningkatan Interaktivitas dan Keterlibatan

Integrasi AR dalam pembelajaran kimia mampu menciptakan lingkungan belajar yang lebih interaktif. Sebagaimana ditunjukkan dalam data observasi, siswa kelompok eksperimen menunjukkan partisipasi lebih aktif dalam diskusi kelompok dan lebih sering mengajukan pertanyaan terkait materi. Fenomena ini menguatkan temuan Kul & Berber, (2022) bahwa AR memfasilitasi interaksi lebih mendalam antara siswa dengan konten pembelajaran.

b. Pemahaman Konseptual yang Lebih Baik

Penggunaan AR memungkinkan visualisasi yang lebih jelas terhadap konsep abstrak seperti struktur atom, sehingga meningkatkan pemahaman konseptual. Hasil tes formatif menunjukkan peningkatan signifikan pada skor pemahaman konsep di kelompok eksperimen. Hal ini konsisten dengan Guvenir & Guven-Yildirim, (2023) yang menegaskan bahwa AR berkontribusi pada peningkatan prestasi akademik dalam pembelajaran sains.

c. Pembelajaran Kolaboratif

Selain mendorong keterlibatan individu, AR juga memfasilitasi kolaborasi antar siswa. Data observasi memperlihatkan bahwa siswa cenderung bekerja sama dalam mengeksplorasi model AR dan mendiskusikan konfigurasi atom. Hal ini sejalan dengan konsep pembelajaran berbasis isu sosio-saintifik (SSI) yang dibahas oleh Kong et al., (2022), di mana kolaborasi dan diskusi menjadi bagian integral dari proses pembelajaran sains.

d. Peran Guru sebagai Fasilitator

Meskipun AR mendukung eksplorasi mandiri, keberhasilan penggunaannya tetap sangat bergantung pada bimbingan guru. Saija et al., (2022) menekankan pentingnya peran guru dalam memfasilitasi investigasi sains berbasis AR, yang juga terlihat dalam penelitian ini: guru berfungsi mengarahkan diskusi, menjelaskan hasil eksplorasi, serta memastikan keterkaitan antara visualisasi AR dan teori yang dipelajari.

III. Batasan Penelitian

Meskipun penelitian ini memberikan hasil yang signifikan, terdapat beberapa batasan yang perlu dicatat. Pertama, keterbatasan infrastruktur teknologi di sekolah berpotensi memengaruhi kelancaran implementasi AR. Beberapa perangkat mengalami kendala teknis yang mengganggu alur pembelajaran. Kedua, penelitian ini dilakukan dalam rentang waktu terbatas, sehingga belum mampu mengevaluasi dampak jangka panjang AR terhadap motivasi dan pemahaman siswa. Batasan ini sejalan dengan catatan Velarde-Camaqui et al., (2024) mengenai kurangnya studi longitudinal terkait efektivitas AR dalam pendidikan.

Selain itu, pengalaman belajar siswa sangat dipengaruhi oleh kualitas desain aplikasi AR yang digunakan. Sebagaimana dinyatakan Newall et al., (2022),

pengalaman pengguna yang kurang optimal dapat menurunkan efektivitas AR. Hal ini juga tampak dalam penelitian ini, di mana beberapa siswa melaporkan kesulitan teknis dalam mengakses fitur tertentu.

IV. Implikasi untuk Penelitian dan Praktik Masa Depan

Penelitian ini memberikan implikasi penting untuk pengembangan lebih lanjut. Pertama, diperlukan penelitian longitudinal untuk menilai keberlanjutan motivasi siswa setelah penggunaan AR dalam periode yang lebih panjang. Kedua, pengembangan perangkat AR perlu memperhatikan user experience agar tidak menimbulkan hambatan teknis yang mengurangi efektivitas pembelajaran. Ketiga, pelatihan guru menjadi aspek krusial dalam menjamin keberhasilan integrasi AR ke dalam kurikulum, sebagaimana ditekankan Lee & Takenaka, (2022).

Selain itu, penelitian masa depan perlu mengeksplorasi integrasi AR dengan teknologi lain seperti Virtual Reality (VR) atau Artificial Intelligence (AI) guna menciptakan ekosistem pembelajaran yang lebih komprehensif (Wu et al., 2025). Hal ini akan membuka peluang besar dalam menciptakan pengalaman belajar yang lebih kaya, personal, dan berkelanjutan.

KESIMPULAN

Penelitian ini menegaskan bahwa penerapan Augmented Reality (AR) dalam pembelajaran kimia mampu memberikan dampak positif yang signifikan terhadap hasil belajar, motivasi, serta keterlibatan siswa dalam proses pembelajaran. Hasil utama menunjukkan bahwa siswa yang belajar dengan bantuan AR mencapai peningkatan pemahaman konseptual lebih baik dibandingkan dengan siswa yang menggunakan metode konvensional. Selain itu, dimensi motivasi seperti perhatian, relevansi, kepercayaan diri, dan kepuasan juga meningkat secara konsisten, mencerminkan kemampuan AR dalam menghadirkan pengalaman belajar yang lebih interaktif dan bermakna.

Temuan ini juga memperlihatkan bahwa AR tidak hanya berfungsi sebagai media bantu visual, tetapi juga sebagai sarana yang mampu mendorong keterampilan berpikir kritis, pemecahan masalah, dan kemandirian belajar. Hal tersebut menjadi penting dalam konteks pendidikan abad ke-21 yang menuntut siswa untuk memiliki

keterampilan tingkat tinggi dan kesiapan menghadapi tantangan global. Dengan demikian, integrasi AR dapat dipandang sebagai strategi pedagogis yang potensial dalam memperkaya praktik pembelajaran sains, khususnya kimia.

Kontribusi utama penelitian ini terletak pada penyediaan bukti empiris yang kuat mengenai efektivitas AR dalam meningkatkan aspek kognitif dan afektif siswa. Hasil yang diperoleh menambah wawasan baru pada literatur tentang penerapan teknologi imersif dalam pendidikan, sekaligus memberikan landasan bagi pengembangan model pembelajaran yang lebih inovatif dan adaptif. Selain itu, penelitian ini menekankan pentingnya pemilihan instrumen yang valid dan reliabel dalam mengukur motivasi serta hasil belajar, sehingga evaluasi terhadap efektivitas teknologi dapat dilakukan secara lebih komprehensif.

Meskipun demikian, penelitian ini juga memiliki keterbatasan, misalnya terkait dengan durasi implementasi yang relatif singkat dan cakupan sampel yang terbatas pada konteks tertentu. Oleh karena itu, studi lanjutan disarankan untuk dilakukan dengan cakupan yang lebih luas, baik dari segi jumlah partisipan, variasi konteks pembelajaran, maupun rentang waktu yang lebih panjang. Penelitian longitudinal, khususnya, dapat memberikan gambaran lebih jelas mengenai dampak jangka panjang AR terhadap motivasi dan capaian akademik siswa.

Secara keseluruhan, penelitian ini menegaskan bahwa AR merupakan teknologi edukatif yang potensial untuk meningkatkan kualitas pembelajaran sains. Dengan pengembangan dan penerapan yang tepat, AR dapat berkontribusi pada terciptanya lingkungan belajar yang lebih efektif, inklusif, dan berorientasi pada masa depan.

DAFTAR PUSTAKA

- Ali, D. F., Johari, N., & Ahmad, A. R. (2023). The Effect of Augmented Reality Mobile Learning in Microeconomic Course. *International Journal of Evaluation and Research in Education (Ijere)*. <https://doi.org/10.11591/ijere.v12i2.24943>
- Amirahma, S., & Setyasto, N. (2024). Development of Augmented Reality-Assisted Teaching Materials in Science Subjects: Solar System Topic. *Jurnal Penelitian Pendidikan Ipa*. <https://doi.org/10.29303/jppipa.v10i5.7027>

- Aquilina, G., Iacono, U. Dello, Gabelli, L., Picariello, G., Scettri, G., & Termini, G. (2024). "Romeo and Juliet: A Love Out of the Shell": Using Storytelling to Address Students' Misconceptions and Promote Modeling Competencies in Science. *Education Sciences*. <https://doi.org/10.3390/educsci14030239>
- Arifuddin, A., Wahyudin, W., Prabawanto, S., Yasin, M., & Elizanti, D. (2022). The Effectiveness of Augmented Reality-Assisted Scientific Approach to Improve Mathematical Creative Thinking Ability of Elementary School Students. *Al Ibtida Jurnal Pendidikan Guru Mi*. <https://doi.org/10.24235/al.ibtida.snj.v9i2.11647>
- Audina, A., & Muchtar, Z. (2024). Development of Interactive Learning Media Based Augmented Reality Android Technology Application on Redox Reaction Materials. *Jurnal Teknologi Pendidikan Jurnal Penelitian Dan Pengembangan Pembelajaran*. <https://doi.org/10.33394/jtp.v9i1.10467>
- Cahyana, U., Luhukay, J. R., Lestari, I., Irwanto, I., & Suroso, J. S. (2023). Improving Students' Literacy and Numeracy Using Mobile Game-Based Learning With Augmented Reality in Chemistry and Biology. *International Journal of Interactive Mobile Technologies (Ijim)*. <https://doi.org/10.3991/ijim.v17i16.42377>
- da Mazzuco, A. E., Krassmann, A. L., Reategui, E. B., & Gomes, R. S. (2022). A Systematic Review of Augmented Reality in Chemistry Education. *Review of Education*. <https://doi.org/10.1002/rev3.3325>
- Fu, Q., Zhou, X., Zheng, Y., & Wang, Z. (2025). The Effects of Algorithm Visualisation on Elementary School Students' Algorithm-Learning Performance, Motivation, and Behaviour. *Journal of Computer Assisted Learning*. <https://doi.org/10.1111/jcal.70049>
- Garrido, A., Berthaut, F., & Manganoni, J. (2024). Evaluation of the Use of a 360° Immersive Visit of the Organic Chemistry Practical Laboratory for Pharmacy Students. *Journal of Chemical Education*. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.4c00264>
- Geng, X. (2024). Enhancing Translation Education Through Augmented Reality (AR). *International Journal of Web-Based Learning and Teaching Technologies*. <https://doi.org/10.4018/ijwlts.361651>
- Goldman, S. R., Coscia, K. A., & Genova, L. A. (2024). ChemisTree: A Novel, Interactive Chemistry Game to Teach Students About Electron Configuration. *Journal of Chemical Education*. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.3c00678>
- Günüç, S., YİĞİT, E., Artun, H., & Okur, M. (2022). Examining the Relationships Between Student Engagement, Campus Facilities, and Technology Integration Among Elementary Teacher Candidates. *Mimbar Sekolah Dasar*. <https://doi.org/10.53400/mimbar-sd.v9i2.42884>
- Güvenir, E., & Guven-Yildirim, E. (2023). The Effect of Educational Film Supported Augmented Reality Applications on Academic Achievement and Motivation for Science Learning. *Journal of Education in Science Environment and Health*. <https://doi.org/10.55549/jeseh.1279771>

- Hartini, T., & Martín, M. (2022). Implementation of Multiple Representation Tests in the Evaluation of Electronics Courses. *Physics Education Research Journal*. <https://doi.org/10.21580/perj.2022.4.1.10918>
- Hidayati, L. N., Utami, R. F., Wiyarsi, A., & Ikhsan, J. (2022). Analysis Students' Learning Motivation on the Implementation of Direct Instruction Learning Model. *Jurnal Penelitian Pendidikan Ipa*. <https://doi.org/10.29303/jppipa.v8i5.2090>
- Hong Long, O. A., Abd Halim, N. D., & Abdul Hanid, M. F. (2024). A Systematic Literature Review on the Use of Technology Tools Used in Game-Based Learning. *International Journal of Academic Research in Progressive Education and Development*. <https://doi.org/10.6007/ijarped/v13-i4/23805>
- Hrast, Š., & Savec, V. F. (2024). Textbook Sets Through the Perspective of the Orientation of the Intended Chemistry Curriculum for Primary and Secondary Schools. *Acta Chimica Slovenica*. <https://doi.org/10.17344/acsi.2024.8628>
- Huda, N., & Rohaeti, E. (2023). The Factors That Influence the Motivation to Learn Chemistry of Upper-Secondary School Students in Indonesia. *Journal of Baltic Science Education*. <https://doi.org/10.33225/jbse/23.22.615>
- Humble, N., & Mozelius, P. (2022). Making Programming Part Of teachers' Everyday Life – Programming Affordances and Constraints for K-12 Mathematics and Technology. *International Journal of Information and Learning Technology*. <https://doi.org/10.1108/ijilt-03-2022-0069>
- Ibáñez, J. G., & Contreras-Ruiz, M. A. (2023). Distance Learning of Introductory Electrochemistry and Corrosion: Home Experimentation. *Journal of Solid State Electrochemistry*. <https://doi.org/10.1007/s10008-023-05445-6>
- Ismarau Tajuddin, N. I., Abd Rahman, N. J., Aziz, K. A., Yusop, N., & Izni, N. A. (2023). Al-Chemy: E-Learning Platform for Foundation Students. *Bulletin of Electrical Engineering and Informatics*. <https://doi.org/10.11591/eei.v12i5.4476>
- Juan, W., Liu, C., Wang, X., Jin, X., Wu, X., & Xue, S. (2023). Measuring University Students' Safety Perception, Awareness and Attitude in Chemical Teaching Laboratory. *Journal of Chemical Education*. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.2c00445>
- Kaminskienė, L., Järvelä, S., & Lehtinen, E. (2022). How Does Technology Challenge Teacher Education? *International Journal of Educational Technology in Higher Education*. <https://doi.org/10.1186/s41239-022-00375-1>
- Kim, S.-W. (2023). Change in Attitude Toward Artificial Intelligence Through Experiential Learning in Artificial Intelligence Education. *International Journal on Advanced Science Engineering and Information Technology*. <https://doi.org/10.18517/ijaseit.13.5.19039>
- Kong, Z., Zhang, S., Zhu, F., & Zhang, J. (2022). The Development and Prospects of Socioscientific Issues Teaching in the Context of Immersive Media Technology. *Frontiers in Psychology*. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2022.877311>

- Kul, H. H., & Berber, A. (2022). The Effects of Augmented Reality in a 7th-Grade Science Lesson on Students' Academic Achievement and Motivation. *Journal of Science Learning*. <https://doi.org/10.17509/jsl.v5i2.42952>
- Lee, Y. J., & Takenaka, B. P. (2022). Extended Reality as a Means to Enhance Public Health Education. *Frontiers in Public Health*. <https://doi.org/10.3389/fpubh.2022.1040018>
- Liu, Y., & Kim, E. (2024). Investigating Student Intrinsic Motivation Trends Over One Semester in an Online General Chemistry II Course. *Journal of Chemical Education*. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.3c00245>
- Mauludin, M. S., Nugroho, A., Hidayat, A., & Prasetyo, S. D. (2024). Simulation of AI-Based PID Controllers on DC Machines Using the MATLAB Application. *Journal Européen Des Systèmes Automatisés*. <https://doi.org/10.18280/jesa.570127>
- Newall, N., Khan, D. Z., Hanrahan, J., Booker, J., Borg, A., Davids, J., Nicolosi, F., Sinha, S., Dorward, N., & Marcus, H. J. (2022). High Fidelity Simulation of the Endoscopic Transsphenoidal Approach: Validation of the UpSurgeOn TNS Box. *Frontiers in Surgery*. <https://doi.org/10.3389/fsurg.2022.1049685>
- Nja, C., Ukwetang, J. O., Orim, R. E., Cornelius-Ukpepi, B. U., & Ndifon, R. A. (2022). Mapping SS1-3 Chemistry Teachers' Interest, Self-Efficacy, and Literacy in Teaching for Creativity Using Simulation. *Frontiers in Education*. <https://doi.org/10.3389/educ.2022.944567>
- Nugraha, A. W., Sinaga, M., Sutiani, A., Darmana, A., & Aini, N. R. (2024). *Analyzing the Difficulties Students Face in Comprehending Fundamental Concepts in the Field of Atomic Structure and Chemical Bonds in the Basic Chemistry Course*. <https://doi.org/10.4108/eai.24-10-2023.2342094>
- Octaviani, L., Harta, J., & Winarta, G. Y. (2022). Development of Assemblr Edu-Assisted Augmented Reality Learning Media on the Topic of Effect of Reactant's Concentration and Catalyst on Reaction Rate. *Jcer (Journal of Chemistry Education Research)*. <https://doi.org/10.26740/jcer.v6n1.p58-71>
- OMURTAK, E., & Zeybek, G. (2022). The Effect of Augmented Reality Applications in Biology Lesson on Academic Achievement and Motivation. *Journal of Education in Science Environment and Health*. <https://doi.org/10.21891/jeseh.1059283>
- Prayitno, M. A., & Nugroho, D. E. (2023). Misconception Diagnostic in Quantum Number Materials and Electron Configuration. *Jurnal Pendidikan (Teori Dan Praktik)*. <https://doi.org/10.26740/jp.v8n1.p9-15>
- Ragusa, G., & Leung, L. (2023). The Impact of Early Robotics Education on Students' Understanding of Coding, Robotics Design, and Interest in Computing Careers. *Sensors*. <https://doi.org/10.3390/s23239335>
- Saija, M., Rahayu, S., Fajaroh, F., & Sumari, S. (2022). Enhancement of High School Students' Scientific Literacy Using Local-Socioscientific Issues in OE3C Instructional Strategies. *Jurnal Pendidikan Ipa Indonesia*. <https://doi.org/10.15294/jpii.v11i1.33341>

- Sánchez, W., Pina, A., & Rubio Navarro, G. M. (2024). Perceptions of Students About Augmented Reality as a Didactic Resource of Náhuat Linguistic Heritage: A Case Study With a Control and Experimental Group. *International Journal of New Education*. <https://doi.org/10.24310/ijne.12.2023.17888>
- Utama, M. R., Saputri, A. T., Anas, M., & Prasetya, E. C. (2022). Could Perception of Digital Learning Environment Potentially Affect First-Year Undergraduate Medical Students Learning Motivation? A Study During Distance Learning Transition Due to the COVID-19 Pandemic in Indonesia. *Gaceta Médica De Caracas*. <https://doi.org/10.47307/gmc.2022.130.s2.12>
- Velarde-Camaqui, D., Celaya-Ramírez, R., Contreras-Fuentes, Y., & Sanabria-Z, J. (2024). Enhancing STEAM Education Through Augmented Reality: The EduAR Open Platform Experience. *Frontiers in Education*. <https://doi.org/10.3389/educ.2024.1391803>
- Wu, J., Yuanliang, Z., & Li, H. (2025). Early Creative Dance Education: A Bibliometric Review With Knowledge Mapping Analysis / <i>Educación Temprana en Danza Creativa: Una Revisión Bibliométrica Con Análisis De Mapas De Conocimiento</i>. *Journal for the Study of Education and Development Infancia Y Aprendizaje*. <https://doi.org/10.1177/02103702251325504>
- Xu, W., & Ouyang, F. (2022). The Application of AI Technologies in STEM Education: A Systematic Review From 2011 to 2021. *International Journal of Stem Education*. <https://doi.org/10.1186/s40594-022-00377-5>
- Xue, S., & Sun, D. (2022). *Integrating Analogy Into Scientific Modeling for Students' Active Learning in Chemistry Education*. <https://doi.org/10.5772/intechopen.105454>
- Yusniza, Y., Nurmaliah, C., Abdullah, A. S., Sarong, M. A., & Safrida, S. (2023). Learning Transformation: The Impact of Problem Based Learning With Mind Mapping on Learning Outcomes in Environmental Conservation Lesson. *Jurnal Penelitian Pendidikan Ipa*. <https://doi.org/10.29303/jppipa.v9i9.4890>
- Zhao, D., Muntean, C. H., Chis, A. E., Rozinaj, G., & Muntean, G. (2022). Game-Based Learning: Enhancing Student Experience, Knowledge Gain, and Usability in Higher Education Programming Courses. *Ieee Transactions on Education*. <https://doi.org/10.1109/te.2021.3136914>