

Efektivitas Media Augmented Reality dalam Pembelajaran Struktur Atom di Sekolah Menengah

Damar Saputra^{1*}, Sekar Melati Indah²

^{1,2} Universitas Timor, Indonesia

Alamat: Sasi, Kec. Kota Kefamenanu, Kabupaten Timor Tengah Utara, Nusa Tenggara Tim.

Abstract: *This study aims to examine the effectiveness of Augmented Reality (AR) media in improving students' understanding of atomic structure. The background of this study is based on the importance of innovation in chemistry learning to improve students' engagement and understanding of concepts. The method used is an experiment with a pretest-posttest design, where students are divided into control and experimental groups. The results showed that the use of AR significantly improved students' understanding compared to conventional methods. These findings indicate that AR technology can be an effective tool in chemistry education to strengthen abstract concepts. The implications of this study indicate the need for technology integration in the learning process to improve the quality of science education.*

Keywords: *Augmented Reality, chemistry education, conceptual understanding, atomic structure, educational technology.*

Abstrak: Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji efektivitas media Augmented Reality (AR) dalam meningkatkan pemahaman siswa terhadap struktur atom. Latar belakang penelitian ini didasarkan pada pentingnya inovasi dalam pembelajaran kimia untuk meningkatkan keterlibatan dan pemahaman konsep siswa. Metode yang digunakan adalah eksperimen dengan desain pretest-posttest, di mana siswa dibagi menjadi kelompok kontrol dan eksperimen. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penggunaan AR secara signifikan meningkatkan pemahaman siswa dibandingkan dengan metode konvensional. Temuan ini mengindikasikan bahwa teknologi AR dapat menjadi alat yang efektif dalam pendidikan kimia untuk memperkuat konsep abstrak. Implikasi penelitian ini menunjukkan perlunya integrasi teknologi dalam proses pembelajaran guna meningkatkan kualitas pendidikan sains.

Kata kunci: Augmented Reality, pendidikan kimia, pemahaman konsep, struktur atom, teknologi pendidikan.

1. PENDAHULUAN

Dalam era digital, teknologi terus berkembang dan memberikan dampak signifikan terhadap berbagai aspek kehidupan, termasuk pendidikan. Salah satu teknologi yang mulai banyak digunakan dalam dunia pendidikan adalah Augmented Reality (AR). Teknologi ini memungkinkan penggabungan objek virtual dengan dunia nyata secara interaktif, sehingga memberikan pengalaman belajar yang lebih menarik dan mendalam (Azuma, 1997). Dalam pembelajaran sains, khususnya kimia, AR menawarkan potensi besar untuk meningkatkan pemahaman siswa terhadap konsep-konsep abstrak, seperti struktur atom, yang sering kali sulit dipahami melalui metode konvensional (Wu et al., 2013).

Struktur atom merupakan salah satu konsep dasar dalam kimia yang memiliki tingkat kompleksitas tinggi karena melibatkan partikel subatom yang tidak dapat diamati secara langsung. Pembelajaran konvensional yang mengandalkan buku teks dan ilustrasi dua dimensi sering kali kurang efektif dalam membantu siswa membangun pemahaman yang konkret mengenai bentuk dan interaksi antarpartikel dalam atom (Chen et al., 2020).

Beberapa penelitian menunjukkan bahwa pembelajaran berbasis teknologi visual, seperti AR, dapat meningkatkan keterlibatan siswa dan memperjelas konsep-konsep yang bersifat abstrak (Billinghurst et al., 2015). Oleh karena itu, penggunaan AR dalam pembelajaran kimia menjadi sebuah inovasi yang potensial untuk meningkatkan efektivitas pembelajaran.

Meskipun beberapa penelitian telah membahas manfaat AR dalam pembelajaran sains, masih terdapat keterbatasan dalam penerapannya, terutama terkait efektivitasnya dibandingkan dengan metode pembelajaran konvensional. Beberapa penelitian sebelumnya hanya berfokus pada aspek visualisasi tanpa mengukur secara langsung dampaknya terhadap pemahaman konsep siswa (Ibáñez & Delgado-Kloos, 2018). Selain itu, belum banyak studi yang secara spesifik mengevaluasi peningkatan pemahaman siswa dalam materi struktur atom melalui media AR. Oleh karena itu, diperlukan penelitian lebih lanjut untuk mengkaji seberapa efektif teknologi ini dalam meningkatkan pemahaman konsep dibandingkan metode pembelajaran tradisional.

Penelitian ini bertujuan untuk mengukur efektivitas penggunaan AR dalam pembelajaran struktur atom melalui pendekatan eksperimen dengan desain pretest-posttest. Dengan menggunakan pendekatan ini, penelitian dapat memberikan data empiris mengenai peningkatan pemahaman siswa setelah menggunakan media AR dalam pembelajaran. Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi bagi pengembangan metode pembelajaran berbasis teknologi dan mendukung integrasi AR dalam kurikulum pendidikan kimia di sekolah.

Secara lebih luas, hasil penelitian ini juga diharapkan dapat memberikan wawasan bagi para pendidik dan pengembang teknologi pendidikan dalam merancang media pembelajaran yang lebih interaktif dan efektif. Dengan meningkatnya pemanfaatan teknologi dalam pendidikan, AR dapat menjadi solusi inovatif untuk membantu siswa memahami konsep-konsep kompleks dalam sains, khususnya dalam bidang kimia.

2. TINJAUAN PUSTAKA

Augmented Reality dalam Pembelajaran

Augmented Reality (AR) merupakan teknologi yang menggabungkan elemen virtual dengan dunia nyata secara interaktif dalam waktu nyata (Azuma, 1997). Dalam dunia pendidikan, AR telah banyak diterapkan sebagai media pembelajaran inovatif yang memberikan pengalaman belajar lebih imersif dibandingkan dengan metode konvensional. Teknologi ini memungkinkan visualisasi konsep abstrak dalam bentuk tiga dimensi,

sehingga dapat membantu siswa memahami materi yang kompleks dengan lebih baik (Wu et al., 2013). Dalam konteks pembelajaran sains, khususnya kimia, penggunaan AR dapat meningkatkan pemahaman siswa terhadap struktur atom yang tidak dapat diamati secara langsung.

Beberapa penelitian menunjukkan bahwa pemanfaatan AR dalam pendidikan memberikan dampak positif terhadap keterlibatan dan pemahaman siswa. Menurut Billingham et al. (2015), teknologi AR dapat meningkatkan motivasi belajar dengan menyediakan lingkungan yang lebih menarik dan interaktif. Studi yang dilakukan oleh Ibáñez dan Delgado-Kloos (2018) juga menunjukkan bahwa AR membantu siswa dalam memahami keterkaitan antara konsep teoretis dan aplikasinya dalam dunia nyata. Dengan demikian, AR tidak hanya berfungsi sebagai alat bantu visualisasi, tetapi juga sebagai media yang mendukung proses pembelajaran berbasis pengalaman.

Pemahaman Konsep dalam Pembelajaran Kimia

Pemahaman konsep dalam pembelajaran kimia sering kali menjadi tantangan bagi siswa, terutama karena banyak konsep dalam bidang ini bersifat abstrak dan tidak dapat diamati secara langsung. Struktur atom, misalnya, terdiri dari partikel subatom yang hanya dapat divisualisasikan melalui model teoretis. Metode pembelajaran tradisional yang mengandalkan teks dan gambar dua dimensi sering kali kurang efektif dalam membantu siswa membangun pemahaman yang mendalam terhadap konsep tersebut (Chen et al., 2020). Oleh karena itu, dibutuhkan pendekatan pembelajaran yang lebih interaktif dan berbasis pengalaman untuk meningkatkan pemahaman siswa.

Beberapa studi menunjukkan bahwa penggunaan teknologi berbasis visualisasi, seperti AR, dapat meningkatkan efektivitas pembelajaran kimia. Menurut penelitian yang dilakukan oleh Chiu et al. (2015), siswa yang belajar menggunakan AR menunjukkan peningkatan yang lebih besar dalam pemahaman konsep dibandingkan dengan siswa yang belajar menggunakan metode konvensional. Studi lain yang dilakukan oleh Radu (2014) menemukan bahwa AR membantu siswa dalam membangun koneksi antara teori dan eksperimen dengan cara yang lebih intuitif dan menarik.

Perbandingan AR dengan Metode Pembelajaran Konvensional

Meskipun metode pembelajaran konvensional seperti ceramah dan penggunaan buku teks telah lama digunakan, pendekatan ini memiliki keterbatasan dalam menjelaskan konsep-konsep abstrak dalam sains. Penelitian yang dilakukan oleh Wu et al. (2013) menunjukkan bahwa metode pembelajaran tradisional sering kali tidak cukup untuk membangun pemahaman konseptual yang kuat, terutama dalam topik-topik yang

memerlukan representasi visual yang lebih kompleks. Di sisi lain, penelitian yang dilakukan oleh Bacca et al. (2014) menyatakan bahwa AR memberikan lingkungan belajar yang lebih fleksibel, memungkinkan siswa untuk mengeksplorasi konsep dengan cara yang lebih dinamis dan interaktif.

Selain itu, efektivitas AR dalam pembelajaran juga didukung oleh teori konstruktivisme yang menekankan pentingnya pembelajaran berbasis pengalaman. Menurut teori ini, siswa membangun pemahaman mereka sendiri melalui interaksi aktif dengan lingkungan belajar (Piaget, 1950). AR menyediakan sarana bagi siswa untuk mengeksplorasi konsep dengan cara yang lebih langsung, yang pada akhirnya dapat meningkatkan retensi dan pemahaman konsep secara lebih mendalam (Ibáñez & Delgado-Kloos, 2018).

Urgensi dan Kebaruan Penelitian

Meskipun berbagai penelitian telah menyoroti manfaat AR dalam pembelajaran sains, masih terdapat keterbatasan dalam penelitian mengenai efektivitasnya dalam pembelajaran struktur atom secara spesifik. Sebagian besar studi sebelumnya lebih menekankan pada aspek teknologi dan implementasi AR secara umum, tanpa mengukur secara langsung dampaknya terhadap pemahaman siswa dalam konsep atomik (Chen et al., 2020). Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk mengisi kesenjangan penelitian tersebut dengan mengevaluasi efektivitas AR dalam meningkatkan pemahaman siswa terhadap struktur atom melalui pendekatan eksperimen yang sistematis.

Penelitian ini tidak hanya memberikan kontribusi dalam pengembangan media pembelajaran berbasis teknologi, tetapi juga memberikan rekomendasi bagi pendidik dalam mengintegrasikan AR ke dalam kurikulum pendidikan kimia. Dengan demikian, hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat bagi dunia pendidikan dalam upaya meningkatkan kualitas pembelajaran sains melalui inovasi teknologi.

3. METODOLOGI

Rancangan Penelitian

Penelitian ini menggunakan metode eksperimen dengan desain pretest-posttest control group design (Creswell, 2014). Desain ini memungkinkan pengukuran perubahan pemahaman siswa sebelum dan sesudah perlakuan diberikan, sehingga dapat dianalisis efektivitas penggunaan teknologi Augmented Reality (AR) dalam pembelajaran struktur atom dibandingkan dengan metode konvensional. Sampel penelitian dibagi menjadi dua kelompok:

- a. Kelompok eksperimen yang menggunakan media AR dalam pembelajaran struktur atom.
- b. Kelompok kontrol yang menggunakan metode konvensional berupa ceramah dan buku teks.

Setiap kelompok diberikan pretest sebelum perlakuan dan posttest setelah perlakuan untuk mengukur peningkatan pemahaman konsep siswa.

Populasi dan Sampel Penelitian

Populasi penelitian ini adalah siswa sekolah menengah yang sedang mempelajari materi struktur atom. Sampel diambil menggunakan teknik *purposive sampling* (Fraenkel & Wallen, 2012), dengan mempertimbangkan kesamaan tingkat kemampuan akademik awal siswa. Jumlah sampel terdiri dari 60 siswa yang terbagi secara acak ke dalam kelompok eksperimen dan kelompok kontrol dengan masing-masing 30 siswa.

Teknik dan Instrumen Pengumpulan Data

Untuk memperoleh data yang valid dan reliabel, penelitian ini menggunakan beberapa teknik pengumpulan data sebagai berikut:

- a. Tes Pemahaman Konsep

Tes berbentuk soal pilihan ganda dan uraian digunakan untuk mengukur pemahaman siswa terhadap konsep struktur atom sebelum (*pretest*) dan sesudah (*posttest*) perlakuan (Anderson & Krathwohl, 2001).

- b. Observasi Keterlibatan Siswa

Observasi dilakukan selama pembelajaran untuk menilai tingkat keterlibatan siswa dalam proses belajar dengan menggunakan lembar observasi berbasis skala Likert (5 tingkat) (Mertens, 2019).

- c. Wawancara

Wawancara semi-terstruktur dilakukan terhadap beberapa siswa dari kedua kelompok untuk menggali persepsi mereka terhadap efektivitas metode pembelajaran yang diterapkan (Bogdan & Biklen, 2007).

Alat Analisis Data

Data yang diperoleh dianalisis menggunakan metode statistik deskriptif dan inferensial sebagai berikut:

- a. Analisis Deskriptif digunakan untuk menggambarkan distribusi data hasil pretest dan posttest masing-masing kelompok.
- b. Uji Normalitas dan Homogenitas dilakukan untuk memastikan bahwa data memenuhi asumsi statistik parametrik sebelum dilakukan uji hipotesis (Field, 2013).

- c. Uji-t Berpasangan (Paired Sample t-Test) digunakan untuk mengukur perbedaan pemahaman konsep sebelum dan sesudah perlakuan dalam masing-masing kelompok (Cohen et al., 2018).
- d. Uji-t Independen (Independent Sample t-Test) digunakan untuk membandingkan peningkatan pemahaman konsep antara kelompok eksperimen dan kelompok kontrol setelah perlakuan diberikan (Gay et al., 2012).

Model Penelitian

Model penelitian ini mengacu pada teori konstruktivisme yang menekankan pentingnya pengalaman langsung dalam membangun pemahaman konsep (Piaget, 1950). Model hubungan antar variabel dalam penelitian ini dapat dijelaskan sebagai berikut:

- Variabel bebas (X): Penggunaan media AR dalam pembelajaran struktur atom.
- Variabel terikat (Y): Peningkatan pemahaman konsep struktur atom.
- Variabel kontrol: Tingkat kemampuan akademik awal siswa.

Model ini mengasumsikan bahwa penggunaan media AR akan memberikan pengalaman belajar yang lebih interaktif dan kontekstual, yang pada akhirnya meningkatkan pemahaman konsep siswa dibandingkan dengan metode pembelajaran konvensional.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Proses Pengumpulan Data

Penelitian ini dilakukan di salah satu sekolah menengah di Indonesia selama satu semester pada tahun ajaran 2024. Data dikumpulkan dari dua kelompok siswa: kelompok eksperimen yang menggunakan teknologi Augmented Reality (AR) dalam pembelajaran struktur atom dan kelompok kontrol yang menggunakan metode konvensional. Instrumen pengumpulan data terdiri dari tes pemahaman konsep (pretest dan posttest), observasi keterlibatan siswa, dan wawancara.

Tes pemahaman konsep diberikan sebelum (pretest) dan setelah (posttest) perlakuan selama enam minggu. Observasi dilakukan setiap sesi pembelajaran untuk menilai tingkat keterlibatan siswa, sedangkan wawancara dilakukan setelah perlakuan untuk memperoleh perspektif siswa mengenai metode pembelajaran yang digunakan.

Hasil Analisis Data

a. Perbandingan Skor Pretest dan Posttest

Hasil analisis data menunjukkan bahwa terdapat peningkatan skor pemahaman konsep yang signifikan pada kelompok eksperimen dibandingkan dengan kelompok kontrol. Tabel 1 menunjukkan rata-rata skor pretest dan posttest untuk kedua kelompok.

Tabel 1. Perbandingan Rata-rata Skor Pretest dan Posttest

Kelompok	Rata-rata Pretest	Rata-rata Posttest	Peningkatan (%)
Eksperimen (AR)	55,2	82,6	49,64
Kontrol (Konvensional)	54,8	72,1	31,56

Sumber: Data Penelitian (2024)

Hasil uji *paired sample t-test* menunjukkan bahwa peningkatan skor pada kelompok eksperimen signifikan secara statistik ($p < 0,05$). Hal ini menunjukkan bahwa penggunaan teknologi AR dalam pembelajaran struktur atom lebih efektif dibandingkan dengan metode konvensional.

b. Observasi Keterlibatan Siswa

Observasi menunjukkan bahwa siswa dalam kelompok eksperimen lebih aktif dalam berpartisipasi dan lebih termotivasi selama proses pembelajaran dibandingkan dengan kelompok kontrol. Tabel 2 menunjukkan hasil observasi keterlibatan siswa selama pembelajaran.

Tabel 2. Perbandingan Keterlibatan Siswa dalam Pembelajaran

Aspek Keterlibatan	Kelompok Eksperimen (AR)	Kelompok Kontrol (Konvensional)
Bertanya aktif	85%	55%
Diskusi kelompok	90%	65%
Antusiasme dalam belajar	88%	60%
Pemahaman konsep melalui demonstrasi	92%	68%

Sumber: Data Observasi (2024)

Berdasarkan hasil observasi, siswa dalam kelompok eksperimen lebih sering bertanya, aktif dalam diskusi kelompok, serta menunjukkan antusiasme lebih tinggi dibandingkan dengan siswa dalam kelompok kontrol.

c. Wawancara Siswa

Hasil wawancara menunjukkan bahwa siswa yang belajar menggunakan AR merasa lebih mudah memahami konsep abstrak dalam struktur atom karena adanya model visual tiga dimensi dan interaksi langsung dengan materi. Beberapa pernyataan siswa adalah sebagai berikut:

- *“Saya lebih mudah memahami bentuk dan struktur atom karena bisa melihat modelnya secara langsung dan memutarinya dari berbagai sudut.”*
- *“Pembelajaran dengan AR lebih menarik dan tidak membosankan dibandingkan hanya membaca buku.”*
- *“Saya lebih termotivasi untuk belajar karena bisa mencoba sendiri bagaimana konsep-konsep dalam kimia diterapkan.”*

Pembahasan

Hasil penelitian ini sejalan dengan temuan Wu et al. (2013) yang menyatakan bahwa penggunaan AR dalam pembelajaran dapat membantu siswa memahami hubungan antara teori dan aplikasi praktis dalam sains. Selain itu, penelitian oleh Azuma (1997) juga menunjukkan bahwa model tiga dimensi yang disajikan melalui AR dapat memperjelas konsep abstrak, seperti struktur atom dalam pembelajaran kimia.

Lebih lanjut, hasil observasi dan wawancara mendukung teori konstruktivisme oleh Piaget (1950), yang menyatakan bahwa pengalaman langsung dan interaksi dengan objek dapat meningkatkan pemahaman konsep siswa. Hal ini juga diperkuat oleh penelitian Dunleavy et al. (2009) yang mengungkapkan bahwa AR mampu meningkatkan keterlibatan dan motivasi siswa dalam belajar.

Implikasi dari hasil penelitian ini adalah bahwa penggunaan teknologi AR dalam pembelajaran dapat menjadi alternatif yang efektif untuk meningkatkan pemahaman konsep dan keterlibatan siswa. Dalam konteks pembelajaran kimia, AR dapat menjadi solusi bagi siswa yang mengalami kesulitan dalam memahami konsep-konsep abstrak.

Namun, terdapat beberapa keterbatasan dalam penelitian ini. Salah satunya adalah keterbatasan dalam jangkauan teknologi AR, di mana tidak semua sekolah memiliki akses terhadap perangkat yang diperlukan. Oleh karena itu, diperlukan penelitian lanjutan untuk mengevaluasi efektivitas AR dalam berbagai kondisi dan mata pelajaran lainnya.

5. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian, dapat disimpulkan bahwa penggunaan media Augmented Reality (AR) dalam pembelajaran struktur atom secara signifikan meningkatkan pemahaman konsep siswa dibandingkan dengan metode konvensional. Hasil analisis menunjukkan bahwa siswa dalam kelompok eksperimen yang menggunakan AR mengalami peningkatan skor posttest yang lebih tinggi dibandingkan dengan kelompok kontrol (Tabel 1). Selain itu, observasi keterlibatan siswa menunjukkan bahwa penggunaan AR mendorong partisipasi aktif, meningkatkan motivasi belajar, serta memberikan

pengalaman pembelajaran yang lebih interaktif dan menarik. Temuan ini mendukung penelitian sebelumnya oleh Wu et al. (2013) dan Dunleavy et al. (2009), yang menegaskan bahwa AR dapat meningkatkan pemahaman konsep melalui visualisasi yang lebih jelas dan pengalaman belajar yang lebih immersif.

Selain manfaatnya dalam meningkatkan pemahaman dan keterlibatan siswa, implementasi AR dalam pembelajaran kimia juga menghadirkan tantangan, seperti keterbatasan perangkat dan kesiapan pendidik dalam mengintegrasikan teknologi ini secara efektif. Oleh karena itu, diperlukan pelatihan bagi guru agar dapat mengoptimalkan penggunaan AR dalam pembelajaran. Selain itu, penelitian lanjutan diperlukan untuk mengeksplorasi efektivitas AR dalam berbagai mata pelajaran serta mengembangkan model pembelajaran berbasis AR yang lebih terstruktur dan adaptif terhadap kebutuhan siswa.

Sebagai rekomendasi, institusi pendidikan perlu mempertimbangkan integrasi teknologi AR dalam kurikulum sebagai alat bantu pembelajaran untuk meningkatkan pemahaman konsep-konsep abstrak. Pemerintah dan pemangku kebijakan juga disarankan untuk mendukung pengembangan dan distribusi teknologi ini ke berbagai institusi pendidikan guna memperluas aksesibilitas dan pemerataan kualitas pembelajaran.

Meskipun penelitian ini telah menunjukkan efektivitas AR dalam pembelajaran struktur atom, keterbatasan penelitian ini meliputi ukuran sampel yang terbatas dan durasi eksperimen yang relatif singkat. Penelitian lebih lanjut dengan sampel yang lebih besar dan dalam jangka waktu yang lebih panjang diperlukan untuk memperkuat temuan ini serta mengevaluasi dampak jangka panjang penggunaan AR dalam pembelajaran sains.

REFERENSI

- Anderson, L. W., & Krathwohl, D. R. (2001). *A taxonomy for learning, teaching, and assessing: A revision of Bloom's taxonomy of educational objectives*. Longman.
- Azuma, R. T. (1997). A survey of augmented reality. *Presence: Teleoperators & Virtual Environments*, 6(4), 355-385.
- Bacca, J., Baldiris, S., Fabregat, R., Graf, S., & Kinshuk. (2014). Augmented reality trends in education: A systematic review of research and applications. *Educational Technology & Society*, 17(4), 133-149.
- Billinghurst, M., & Duenser, A. (2012). Augmented reality in the classroom. *Computer*, 45(7), 56-63.
- Billinghurst, M., Clark, A., & Lee, G. (2015). A survey of augmented reality. *Foundations and Trends in Human-Computer Interaction*, 8(2-3), 73-272.

- Bogdan, R. C., & Biklen, S. K. (2007). *Qualitative research for education: An introduction to theories and methods*. Pearson.
- Chen, C. M., Su, C. Y., & Chen, Y. Y. (2020). Developing an augmented reality-based learning system for improving the learning effectiveness of chemistry students. *Interactive Learning Environments*, 28(5), 602-615.
- Chen, P., Liu, X., Cheng, W., & Huang, R. (2017). A review of using augmented reality in education from 2011 to 2016. *Innovations in Smart Learning*, 13-18.
- Chiu, J. L., DeJaegher, C. J., & Chao, J. (2015). The effects of augmented reality on science learning: A meta-analysis. *Educational Research Review*, 16, 1-18.
- Cohen, L., Manion, L., & Morrison, K. (2018). *Research methods in education* (8th ed.). Routledge.
- Creswell, J. W. (2014). *Research design: Qualitative, quantitative, and mixed methods approaches* (4th ed.). SAGE Publications.
- Dunleavy, M., Dede, C., & Mitchell, R. (2009). Affordances and limitations of immersive participatory augmented reality simulations for teaching and learning. *Journal of Science Education and Technology*, 18(1), 7-22.
- Field, A. (2013). *Discovering statistics using IBM SPSS statistics*. SAGE.
- Fraenkel, J. R., & Wallen, N. E. (2012). *How to design and evaluate research in education* (8th ed.). McGraw-Hill.
- Gay, L. R., Mills, G. E., & Airasian, P. (2012). *Educational research: Competencies for analysis and applications* (10th ed.). Pearson.
- Ibáñez, M. B., & Delgado-Kloos, C. (2018). Augmented reality for STEM learning: A systematic review. *Computers & Education*, 123, 109-123.
- Ibáñez, M. B., Di Serio, Á., Villarán, D., & Delgado-Kloos, C. (2014). Experimenting with electromagnetism using augmented reality: Impact on flow student experience and educational effectiveness. *Computers & Education*, 71, 1-13.
- Klopfer, E., & Squire, K. (2008). Environmental detectives—The development of an augmented reality platform for environmental simulations. *Educational Technology Research and Development*, 56(2), 203-228.
- Kounavis, C. D., Kasimati, A. E., & Zamani, E. D. (2012). Enhancing the tourism experience through mobile augmented reality: Challenges and prospects. *International Journal of Engineering Business Management*, 4, 10.
- Liarokapis, F., & Anderson, E. F. (2010). Using augmented reality interfaces to enhance teaching experiences. In *The 2010 ACM SIGGRAPH Symposium on Interactive 3D Graphics and Games* (pp. 19-26).
- Mertens, D. M. (2019). *Research and evaluation in education and psychology: Integrating diversity with quantitative, qualitative, and mixed methods*. SAGE Publications.

- Piaget, J. (1950). *The psychology of intelligence*. Routledge & Kegan Paul.
- Radu, I. (2014). Augmented reality in education: A meta-review and cross-media analysis. *Personal and Ubiquitous Computing*, 18(6), 1533-1543.
- Shelton, B. E., & Hedley, N. R. (2002). Using augmented reality for teaching Earth-Sun relationships to undergraduate geography students. *The First IEEE International Augmented Reality Toolkit Workshop*.
- Wojciechowski, R., & Cellary, W. (2013). Evaluation of learners' attitude toward learning in ARIES augmented reality environments. *Computers & Education*, 68, 570-585.
- 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.
- 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 (JETDE)*, 4(1), 119-140.