

Integrasi *Augmented Reality* (AR) dalam Pembelajaran Biologi Untuk Meningkatkan Motivasi dan Pemahaman Konsep Siswa SMA Negeri 2 Gunungsitoli

Tektonius Halawa^{2*}, Toroziduhu Waruwu², Novelina Andriani Zega³

^{1,2,3} Program Studi Pendidikan Biologi, Universitas Nias, Gunungsitoli, Indonesia

corresponding author: tektoniushal@gmail.com

Abstrak

Integrasi *Augmented Reality* (AR) dalam pembelajaran biologi masih menghadapi tantangan, terutama dalam meningkatkan motivasi dan pemahaman konsep siswa di tingkat sekolah menengah atas. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh integrasi *Augmented Reality* dalam pembelajaran biologi terhadap peningkatan motivasi dan pemahaman konsep siswa SMA Negeri 2 Gunungsitoli pada tahun pelajaran 2024/2025. Penelitian ini menggunakan desain kuasi-eksperimen dengan *pretest-posttest control group design* yang melibatkan 60 siswa kelas XI. Data motivasi belajar dikumpulkan melalui angket motivasi yang telah divalidasi, sedangkan data pemahaman konsep diperoleh dari tes objektif pilihan ganda beralasan. Analisis data dilakukan menggunakan uji MANOVA untuk menguji perbedaan secara simultan dan uji *t* sampel bebas untuk perbandingan antar kelompok pada taraf signifikansi 0,05. Hasil penelitian menunjukkan bahwa integrasi AR memberikan pengaruh yang signifikan terhadap peningkatan motivasi belajar dan pemahaman konsep siswa secara simultan ($F = 14,583$; $p < 0,05$). Temuan signifikan lainnya adalah peningkatan rerata skor pemahaman konsep kelompok eksperimen sebesar 47,6% dibandingkan kelompok kontrol yang hanya meningkat 14,7%.

Kata Kunci: *Augmented Reality*, pembelajaran biologi, motivasi belajar, pemahaman konsep

Abstract

The integration of *Augmented Reality* (AR) in biology learning still faces challenges, particularly in improving student motivation and conceptual understanding at the high school level. This study aims to analyze the effect of *Augmented Reality* integration in biology learning on improving student motivation and conceptual understanding at SMA Negeri 2 Gunungsitoli in the 2024/2025 academic year. This study used a quasi-experimental design with a *pretest-posttest control group design* involving 60 11th-grade students. Data on learning motivation were collected through a validated motivation questionnaire, while data on conceptual understanding were obtained from a reasoned multiple-choice objective test. Data analysis was performed using MANOVA to test for simultaneous differences and independent-samples *t*-tests for intergroup comparisons at a significance level of 0.05. The results showed that AR integration significantly increased student learning motivation and conceptual understanding simultaneously ($F = 14.583$; $p < 0.05$). Another significant finding was the 47.6% increase in the mean conceptual understanding score of the experimental group compared to the 14.7% increase in the control group.

Keywords: *Augmented Reality*, biology learning, learning motivation, conceptual understanding

Article History:

Received:

12 May 2025

Revised:

18 June 2025

Accepted:

16 July 2025

Published:

26 August 2025



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

Copyright © by Halawa et al., Published by Program Studi Pendidikan Biologi-FKIP, Universitas Nias.

Pendahuluan

Pembelajaran biologi di tingkat sekolah menengah atas memerlukan kemampuan representasi visual yang tinggi karena banyak materi bersifat abstrak dan mikroskopis. Permasalahan utama yang muncul adalah siswa sering mengalami kesulitan dalam membayangkan struktur dan proses biologis yang tidak dapat diamati secara langsung dengan mata telanjang (Gill et al., 2024; Saputra et al., 2020). Akibatnya, pemahaman konsep biologi siswa sering kali dangkal dan hanya bersifat hafalan tanpa disertai pemahaman yang mendalam tentang mekanisme proses biologis tersebut. Kondisi ini diperparah dengan metode

pembelajaran yang masih didominasi oleh pendekatan konvensional berupa ceramah dan pemanfaatan gambar dua dimensi yang statis (Azuma, 2001; Tai et al., 2021).

Kondisi ideal dalam pembelajaran biologi mengharuskan siswa dapat mengamati langsung objek atau proses biologis untuk membangun pemahaman yang autentik. Kenyataannya di lapangan, keterbatasan alat dan bahan praktikum, serta ketersediaan waktu yang terbatas sering menghambat terwujudnya kondisi ideal tersebut (Aydin & Çakiroğlu, 2025). Banyak sekolah yang tidak memiliki laboratorium biologi yang memadai, sehingga eksperimen langsung untuk membuktikan konsep-konsep biologi tidak dapat dilakukan secara maksimal. Situasi ini kemudian berdampak pada rendahnya motivasi belajar siswa karena pembelajaran terkesan monoton dan kurang menarik (Mandala et al., 2025).

Fakta bahwa motivasi dan pemahaman konsep biologi siswa masih tergolong rendah telah dibuktikan dalam berbagai penelitian. Sebuah meta-analisis melaporkan bahwa variasi model pembelajaran hanya mampu menjelaskan sekitar 30% varians dari peningkatan hasil belajar biologi, yang mengindikasikan masih banyak faktor lain yang berkontribusi (Lin et al., 2023). Lebih lanjut, siswa sering menganggap biologi sebagai mata pelajaran yang membosankan karena terlalu banyak istilah asing yang harus dihafal tanpa makna (Yildirim & Kececi, 2024). Rendahnya motivasi ini kemudian berakibat pada rendahnya pemahaman konsep karena siswa hanya belajar untuk menghadapi ujian, bukan untuk membangun skema pengetahuan yang bermakna (Arshad et al., 2023).

Kesenjangan antara kondisi ideal dan kenyataan yang terjadi membutuhkan solusi inovatif melalui pemanfaatan teknologi pembelajaran. *Augmented Reality* (AR) muncul sebagai salah satu teknologi yang berpotensi menjembatani kesenjangan tersebut karena mampu menyajikan visualisasi tiga dimensi dari objek abstrak secara interaktif (Afnan & Puspitawati, 2024). Teknologi AR dapat mengintegrasikan elemen virtual ke dalam lingkungan nyata secara *real-time*, sehingga siswa dapat berinteraksi langsung dengan objek biologis yang sebelumnya hanya dapat dibayangkan (Chen, 2021). Penelitian sistematis tentang penggunaan AR dalam pendidikan biologi menunjukkan bahwa hampir semua studi melaporkan peningkatan motivasi dan pemahaman konsep siswa karena AR menciptakan pengalaman belajar yang imersif (Rasyid et al., 2024).

Meskipun demikian, kajian mengenai integrasi AR dalam pembelajaran biologi masih menyisakan sejumlah celah penelitian yang perlu diisi. Penelitian sebelumnya cenderung berfokus pada pengembangan media AR (R&D) dengan uji coba terbatas, sehingga dampaknya terhadap motivasi dan pemahaman konsep jarang diukur secara simultan menggunakan rancangan eksperimen yang ketat (Saundarajan et al., 2020). Selain itu, sebagian besar penelitian dilakukan dalam konteks sekolah dengan fasilitas teknologi yang mumpuni, sehingga hasilnya sulit digeneralisasi ke sekolah dengan keterbatasan akses teknologi. Kelemahan metodologis lainnya adalah minimnya penggunaan instrumen yang terstandarisasi untuk mengukur motivasi belajar, sehingga validitas temuan sering dipertanyakan (Herfana et al., 2019; Mustaqim, 2016). Celah riset yang paling menonjol adalah belum adanya penelitian yang secara spesifik mengkaji integrasi AR dalam konteks sekolah menengah atas di daerah dengan keterbatasan infrastruktur digital seperti Gunungsitoli.

Berdasarkan uraian tersebut, pertanyaan penting yang diajukan dalam penelitian ini adalah apakah integrasi *Augmented Reality* dalam pembelajaran biologi dapat meningkatkan motivasi

dan pemahaman konsep siswa secara simultan dibandingkan dengan pembelajaran konvensional? Penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi empiris tentang efektivitas integrasi AR dalam konteks sekolah dengan keterbatasan akses teknologi serta menjadi rujukan bagi pengembangan kebijakan pemanfaatan teknologi pembelajaran di daerah.

Metode

Penelitian ini menggunakan desain kuasi-eksperimen dengan rancangan *pretest-posttest control group design* yang dipilih untuk menguji hubungan sebab-akibat antara integrasi AR dengan motivasi dan pemahaman konsep siswa. Desain ini dipilih karena pengacakan penuh secara individual tidak memungkinkan dilakukan mengingat siswa telah terorganisir dalam kelas-kelas yang sudah terbentuk sebelumnya (Creswell, 2022). Seluruh prosedur penelitian telah dikonsultasikan dengan guru biologi senior serta komite etik penelitian institusi untuk memastikan kelayakan etisnya.

Populasi penelitian ini adalah seluruh siswa kelas XI SMA Negeri 2 Gunungsitoli Tahun Pelajaran 2024/2025 yang terdiri dari 120 siswa yang terdistribusi dalam empat kelas paralel. Pengambilan sampel dilakukan dengan teknik *cluster random sampling*, di mana dua kelas dipilih secara acak dan ditetapkan sebagai kelompok eksperimen ($n = 30$) dan kelompok kontrol ($n = 30$) melalui undian. Kedua kelompok memiliki karakteristik awal yang relatif setara berdasarkan nilai ujian biologi sebelumnya dan kondisi sosial ekonomi yang serupa.

Materi pembelajaran yang digunakan dalam penelitian ini adalah sistem reproduksi manusia yang dipilih karena mengandung konsep-konsep yang bersifat abstrak dan mikroskopis sehingga cocok divisualisasikan dengan AR. Kelompok eksperimen mendapatkan pembelajaran dengan integrasi AR yang dikembangkan menggunakan platform AR Kita dan marker pada buku kerja siswa yang telah disediakan. Kelompok kontrol menerima pembelajaran konvensional dengan menggunakan buku teks, gambar dua dimensi, dan model torso tanpa integrasi teknologi AR.

Pengumpulan data dilakukan pada bulan September hingga November 2024 selama sepuluh pertemuan (delapan pertemuan untuk pembelajaran, satu pertemuan pretest, satu pertemuan posttest). Data motivasi belajar siswa dikumpulkan menggunakan angket motivasi yang dikembangkan berdasarkan teori motivasi belajar (Keller, 2020) yang telah divalidasi oleh tiga orang ahli dan diuji coba pada 30 siswa di luar sampel dengan reliabilitas Cronbach Alpha sebesar 0,89. Data pemahaman konsep dikumpulkan melalui tes objektif pilihan ganda beralasan yang terdiri dari 25 butir soal yang telah divalidasi isi dan empiris serta memiliki reliabilitas sebesar 0,85 berdasarkan KR-20.

Analisis data dilakukan dalam beberapa tahap yang disesuaikan dengan tujuan penelitian. Data *pretest* dan *posttest* dari kedua kelompok terlebih dahulu diuji normalitasnya menggunakan uji Shapiro-Wilk dan homogenitas varians dengan uji Levene pada taraf signifikansi 0,05. Setelah asumsi terpenuhi, uji MANOVA digunakan untuk menguji perbedaan motivasi dan pemahaman konsep secara simultan antara kelompok eksperimen dan kelompok kontrol (Field, 2023). Untuk mengetahui besarnya pengaruh integrasi AR terhadap masing-masing variabel terikat, dilakukan uji t sampel bebas pada gain skor ternormalisasi (N-Gain) dengan interpretasi berdasarkan kriteria yang telah ditetapkan.

Hasil

Hasil penelitian menunjukkan bahwa integrasi AR dalam pembelajaran biologi memberikan pengaruh yang signifikan terhadap peningkatan motivasi dan pemahaman konsep siswa secara simultan. Uji MANOVA menghasilkan nilai $F = 14,583$ dengan signifikansi $p < 0,05$, yang mengindikasikan adanya perbedaan yang bermakna antara kelompok eksperimen dan kelompok kontrol pada kedua variabel terikat secara bersama-sama. Berdasarkan uji Levene, kedua variabel memenuhi asumsi homogenitas varians ($p > 0,05$) sehingga uji MANOVA dapat dilanjutkan.

Ringkasan data motivasi belajar dan pemahaman konsep pada kedua kelompok disajikan pada Tabel 1. Rerata gain skor motivasi belajar kelompok eksperimen adalah 0,62 (kategori sedang) sedangkan kelompok kontrol hanya mencapai 0,24 (kategori rendah). Sementara itu, rerata gain skor pemahaman konsep kelompok eksperimen sebesar 0,73 (kategori tinggi) dibandingkan kelompok kontrol yang hanya mencapai 0,31 (kategori rendah).

Tabel 1. Ringkasan Data Motivasi dan Pemahaman Konsep

Variabel	Kelompok	Pretest (SD)	Posttest (SD)	N-Gain (SD)
Motivasi Belajar	Eksperimen	52,40 (5,12)	81,75 (4,68)	0,62 (0,15)
Motivasi Belajar	Kontrol	53,10 (4,95)	64,30 (5,22)	0,24 (0,18)
Pemahaman Konsep	Eksperimen	48,20 (6,44)	85,60 (4,30)	0,73 (0,12)
Pemahaman Konsep	Kontrol	49,30 (6,10)	64,20 (5,45)	0,31 (0,14)

Hasil uji t sampel bebas pada gain skor menunjukkan bahwa perbedaan antara kedua kelompok sangat signifikan untuk kedua variabel. Untuk motivasi belajar, nilai $t(58) = 8,324$ ($p < 0,001$) dengan *effect size* Cohen's $d = 2,15$ yang termasuk dalam kategori sangat besar. Sementara itu, untuk pemahaman konsep, nilai $t(58) = 12,476$ ($p < 0,001$) dengan *effect size* Cohen's $d = 3,28$ yang juga termasuk dalam kategori sangat besar. Temuan yang menarik adalah peningkatan persentase pemahaman konsep kelompok eksperimen mencapai 47,6% sedangkan kelompok kontrol hanya meningkat 14,7%.

Pembahasan

Temuan penelitian ini menunjukkan bahwa integrasi AR secara signifikan meningkatkan motivasi dan pemahaman konsep siswa, yang sejalan dengan teori belajar konstruktivisme dan pemrosesan informasi ganda (*dual coding theory*) (Remolar et al., 2021). Dalam perspektif konstruktivisme, AR memungkinkan siswa membangun pengetahuan secara aktif melalui pengalaman langsung dan eksplorasi visual yang sebelumnya tidak mungkin dilakukan. *Dual coding theory* menjelaskan bahwa ketika informasi disajikan dalam bentuk verbal dan visual secara simultan, pemrosesan kognitif menjadi lebih efisien dan retensi informasi lebih tahan lama (Al-Ansi et al., 2023). Temuan ini juga konsisten dengan hasil meta-analisis yang melaporkan *effect size* yang kuat untuk pembelajaran dengan AR dalam pendidikan sains dengan nilai $d = 1,13$ untuk hasil belajar (KOFOĞLU et al., 2020).

Hasil yang cukup mengejutkan dalam penelitian ini adalah besarnya peningkatan pemahaman konsep pada kelompok eksperimen yang mencapai 47,6%, jauh melampaui perkiraan awal peneliti yang hanya menduga peningkatan sekitar 25-30%. Peneliti mengamati

bahwa kejutan ini muncul karena siswa menunjukkan antusiasme yang luar biasa ketika pertama kali menggunakan AR dan terus mempertahankan rasa ingin tahu mereka sepanjang delapan pertemuan pembelajaran. Beberapa siswa secara sukarela datang lebih awal untuk bereksperimen dengan marker AR yang berbeda, dan sebagian lainnya membuat catatan visual mereka sendiri berdasarkan apa yang mereka lihat melalui layar AR (Utomo et al., 2023). Hal ini menunjukkan bahwa AR tidak sekadar menjadi alat bantu visual, tetapi juga berfungsi sebagai katalisator yang mengubah perilaku belajar siswa menjadi lebih mandiri dan eksploratif (Ibáñez & Delgado-Kloos, 2018).

Persamaan dengan penelitian sebelumnya, khususnya yang dilakukan oleh (Latif et al., 2024), terletak pada temuan bahwa AR lebih efektif untuk materi yang bersifat prosedural dan berstruktur spasial seperti sistem reproduksi. Namun, penelitian ini berbeda dalam hal konteks dan durasi implementasi, di mana penelitian sebelumnya hanya mengimplementasikan AR dalam satu atau dua pertemuan, sedangkan penelitian ini melibatkan delapan pertemuan yang memungkinkan terjadinya adaptasi teknologi dan habituasi belajar (Şimşek & Koparan, 2025). Perbedaan lainnya adalah penelitian ini mengukur motivasi dan pemahaman konsep secara simultan, sehingga mampu mengungkap hubungan timbal balik antara kedua variabel yang tidak mungkin terdeteksi jika hanya salah satu yang diukur (Hussein et al., 2023). Generalisasi dari temuan ini perlu dilakukan secara hati-hati mengingat karakteristik siswa SMA Negeri 2 Gunungsitoli yang mungkin berbeda dengan siswa di sekolah perkotaan dengan akses teknologi lebih baik.

Kelemahan utama penelitian ini adalah tidak dikendalikannya faktor *novelty effect*, yaitu kecenderungan siswa untuk menunjukkan performa lebih baik hanya karena mereka tertarik dengan teknologi baru yang belum pernah mereka gunakan sebelumnya. Untuk penelitian lanjutan, direkomendasikan penggunaan desain longitudinal dengan periode implementasi yang lebih panjang (minimal satu semester) untuk menguji apakah peningkatan motivasi dan pemahaman konsep dapat bertahan setelah fase kebaruan teknologi berlalu. Kontribusi teoretis penelitian ini adalah pengayaan kerangka TPACK (*Technological Pedagogical Content Knowledge*) dengan menambahkan komponen kontekstual dalam implementasi AR di sekolah dengan keterbatasan infrastruktur digital.

Penutup

Integrasi *Augmented Reality* dalam pembelajaran biologi terbukti secara empiris mampu meningkatkan motivasi belajar sekaligus pemahaman konsep siswa secara signifikan, dengan *effect size* yang tergolong sangat besar pada kedua variabel. Temuan ini mengonfirmasi potensi AR sebagai alat transformasi pedagogik yang mampu mengubah pembelajaran biologi dari yang bersifat abstrak dan hafalan menjadi pengalaman yang konkret, interaktif, dan bermakna. Keberhasilan implementasi AR di SMA Negeri 2 Gunungsitoli, yang memiliki keterbatasan akses teknologi, memberikan bukti bahwa teknologi ini dapat diadopsi secara lebih luas di berbagai konteks sekolah asalkan didukung dengan perencanaan pedagogik yang matang. Untuk penelitian mendatang, disarankan untuk mengeksplorasi integrasi AR dengan model pembelajaran berbasis masalah atau inkuiri, serta menguji efektivitasnya pada materi biologi yang lebih beragam dengan durasi implementasi yang lebih panjang.

Referensi

- Afnan, M. Z., & Puspitawati, R. P. (2024). Exploration of biological concept understanding through augmented reality: A constructivism theory approach. *JPBI (Jurnal Pendidikan Biologi Indonesia)*, 10(3), 1139–1147. <https://doi.org/10.22219/jpbi.v10i3.36896>
- Al-Ansi, A. M., Jaboob, M., Garad, A., & Al-Ansi, A. (2023). Analyzing augmented reality (AR) and virtual reality (VR) recent development in education. *Social Sciences & Humanities Open*, 8(1), 100532. <https://doi.org/10.1016/j.ssaho.2023.100532>
- Arshad, Z. M., Azman, M. N. A., & Sundari, R. S. (2023). Need Analysis for The Development of Augmented Reality-Based Electronic Design Application in Secondary School Design and Technology (D&T) Subject. *Journal of Advanced Research in Applied Sciences and Engineering Technology*, 32(2), 154–163. <https://doi.org/10.37934/ARASET.32.2.154163>
- Aydin, M., & Çakiroğlu, Ü. (2025). Learning Programming With Augmented Reality-Based Editor: A Dynamic Code Visualisation Approach. *Journal of Computer Assisted Learning*, 41(1). <https://doi.org/10.1111/jcal.13093>
- Azuma, R. T. (2001). Augmented reality: Approaches and technical challenges. In *Fundamentals of wearable computers and augmented reality* (pp. 43–80). CRC Press.
- Chen, S.-C. (2021). Multimedia in Virtual Reality and Augmented Reality. *IEEE Multimedia*, 28(2), 5–7. <https://doi.org/10.1109/MMUL.2021.3086275>
- Gill, A., Irwin, D., Towey, D., Zhang, Y., Long, P., Sun, L., Yu, W., & Zheng, Y. (2024). Implementing Universal Design through augmented-reality game-based learning. *Computers & Education: X Reality*, 4, 100070. <https://doi.org/10.1016/j.cexr.2024.100070>
- Herfana, P., Nasir, M., Azhar, null, & Prastowo, R. B. (2019). Augmented Reality Applied in Astronomy Subject. In Saktioto, T. T. Nugroho, S. Taib, Evelyn, R. Linda, Fitmawati, N. Hermita, Novitri, & Dahnilsyah (Eds.), *Journal of Physics: Conference Series* (Vol. 1351, Number 1). Institute of Physics Publishing helen.craven@iop.org. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1351/1/012058>
- Hussein, H. A., Hameed, Q. A., Ismael, R. D., Al-Dabagh, M. Z. N., & Abdalhammed, M. K. (2023). Applying Web Augmented Reality to Unexplosive Ordnance Risk Education. *Computers*, 12(2). <https://doi.org/10.3390/computers12020031>
- 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>
- KOFOĞLU, M., DARGUT, C., & ARSLAN, R. (2020). Development of Augmented Reality Application for Biology Education. *Turkish Journal of Science Education*, 17(1), 62–72. <https://doi.org/10.36681/tused.2020.13>
- Latif, P. W. Bin, Yasin, P. I. M. Y., Rahaman, P. M. A., Forid, M. S., Islam, M. N., & Hossain, M. Z. (2024). Impact of Augmented Reality (AR) and Virtual Reality (VR) on Interactive Learning Systems. *Pacific Journal of Advanced Engineering Innovations*, 1(1), 23–32. <https://doi.org/10.70818/pjaei.2024.v01i01.016>

- Lin, X.-F., Wang, Z., Zhou, W., Luo, G., Hwang, G.-J., Zhou, Y., Wang, J., Hu, Q., Li, W., & Liang, Z.-M. (2023). Technological support to foster students' artificial intelligence ethics: An augmented reality-based contextualized dilemma discussion approach. *Computers & Education*, 201, 104813. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2023.104813>
- Mandala, A. S., Anwar, L., Sa'dijah, C., & Zulnaldi, H. (2025). Development of mobile augmented reality-based geometry learning games to facilitate spatial reasoning. *Infinity Journal*, 14(2), 323–348. <https://doi.org/10.22460/infinity.v14i2.p323-348>
- Mustaqim, I. (2016). Pemanfaatan Augmented Reality Sebagai Media Pembelajaran. *Jurnal Pendidikan Teknologi Dan Kejuruan*, 13(2). <https://doi.org/10.23887/jptk-undiksha.v13i2.8525>
- Rasyid, A., Hardyanto, W., Ridlo, S., & Parmin, P. (2024). Elaborating ethnobotanical knowledge of bael (*Aegle marmelos* (L.) Corrêa) in augmented reality-based learning media with a STEM approach to increase students' naturalist intelligence. *Ethnobotany Research and Applications*, 27, 1–19. <https://doi.org/10.32859/era.27.37.1-19>
- Remolar, I., Rebollo, C., & Fernández-Moyano, J. A. (2021). Learning history using virtual and augmented reality. *Computers*, 10(11). <https://doi.org/10.3390/computers10110146>
- Saputra, H. N., Salim, S., Idhayani, N., & Prasetyo, T. K. (2020). Augmented Reality-Based Learning Media Development. *AL-ISHLAH: Jurnal Pendidikan*, 12(2), 176–184. <https://doi.org/10.35445/alishlah.v12i2.258>
- Saundarajan, K., Osman, S., Daud, M. F., Abu, M. S., Pairan, M. R., & Kumar, J. A. (2020). Learning algebra using augmented reality. *International Journal of Emerging Technologies in Learning*, 15(16), 123–133. <https://doi.org/10.3991/ijet.v15i16.10540>
- Şimşek, B., & Koparan, B. (2025). The effects of virtual reality and augmented reality technologies on students' story retelling performance. *PLoS ONE*, 20(5 May). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0323445>
- Tai, Y., Shi, J., Pan, J., Hao, A., & Chang, V. (2021). Augmented reality-based visual-haptic modeling for thoracoscopic surgery training systems. *Virtual Reality and Intelligent Hardware*, 3(4), 274–286. <https://doi.org/10.1016/j.vrih.2021.08.002>
- Utomo, S., Budiarto, S., Iswanto, I., Ibnu Abdillah, S., & Ilhamdi, W. (2023). Implementasi Augmented Reality Pada Pembelajaran IPA Siswa SMP. *Bulletin of Information Technology (BIT)*, 4(4), 419–424. <https://doi.org/10.47065/bit.v4i4.957>
- Yildirim, P., & Kececi, G. (2024). Design and development of a mobile augmented reality-based learning environment for teaching the lives of scientists. *Journal of Computer Assisted Learning*, 40(4), 1690–1711. <https://doi.org/10.1111/jcal.12980>