

Peningkatan Kompetensi Guru Fisika Sekolah Menengah melalui Pelatihan Pengembangan Media Pembelajaran Berbasis Augmented Reality: Sebuah Studi Kasus di Kota Serang, Provinsi Banten, Indonesia

Disubmit 4 Agustus 2026, Direvisi 8 Agustus 2026, Diterima 25 Agustus 2026

Rudi Haryadi^{1*}, Rahmat Firman Septiyanto², Heni Pujiastuti³, Isriyanti Affifah⁴

^{1,2}Jurusan Pendidikan Fisika, Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan,
Universitas Sultan Ageng Tirtayasa, Serang, Indonesia

³Pendidikan Matematika, Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan,
Universitas Sultan Ageng Tirtayasa, Serang, Indonesia

⁴Pendidikan Kimia, Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan,
Universitas Sultan Ageng Tirtayasa, Serang, Indonesia
Email Korespondensi: *rudiharyadi@untirta.ac.id

Abstrak

Salah satu cara untuk membuat pembelajaran fisik lebih interaktif, kontekstual, dan berpusat pada peserta didik adalah dengan menggunakan teknologi digital. Terbukti bahwa Augmented Reality (AR) dapat memvisualisasikan ide-ide fisik yang abstrak. Namun, karena kurangnya kemampuan guru untuk membuat media pembelajaran berbasis AR, penggunaan AR di sekolah masih terbatas. Melalui pelatihan dan pendampingan, kegiatan ini dilakukan di kota Serang, provinsi Banten, Indonesia, untuk meningkatkan kemampuan guru fisika sekolah menengah dalam mengembangkan media pembelajaran berbasis Augmented Reality. Analisis kebutuhan, penyebaran materi, pelatihan dan praktik pengembangan media, pendampingan, dan evaluasi kegiatan adalah semua pendekatan yang digunakan dalam studi kasus ini. Hasil menunjukkan bahwa pengetahuan dan kemampuan peserta meningkat dalam desain dan pembuatan media pembelajaran berbasis AR. Peserta juga berhasil membuat media pembelajaran yang sesuai dengan sifat materi fisika dan siap digunakan selama proses pembelajaran. Selain itu, kegiatan ini meningkatkan kepercayaan diri guru dalam penggunaan teknologi digital sebagai bagian dari inovasi pembelajaran. Ini juga mendorong pembentukan budaya kerja sama dan berbagi praktik baik antar guru. Oleh karena itu, salah satu jenis pengembangan profesional yang berguna adalah pelatihan tentang pengembangan media pembelajaran berbasis Augmented Reality. Ini juga membantu mendukung pengembangan pembelajaran fisika yang lebih inovatif dan berkelanjutan.

Kata Kunci: *Augmented Reality*, Guru Fisika, Media Pembelajaran, Pelatihan Guru

PENDAHULUAN

Paradigma pembelajaran telah berubah sebagai akibat dari transformasi digital. Proses pembelajaran sekarang lebih interaktif, kontekstual, dan berpusat pada siswa (Taub et al., 2024; Xu et al., 2024). *Augmented Reality* (AR) adalah teknologi yang memiliki kemampuan untuk mengintegrasikan objek virtual tiga dimensi ke dalam lingkungan nyata secara *real-time*. Ini adalah salah satu teknologi yang berkembang pesat dalam bidang pendidikan (Pujiastuti et al., 2026a). AR memiliki keunggulan dalam pembelajaran fisika karena dapat memvisualisasikan konsep abstrak yang sulit diamati secara langsung, membantu peserta didik memperoleh pemahaman konseptual yang lebih baik (Haryadi & Pujiastuti, 2022). Studi menunjukkan bahwa AR dapat meningkatkan keterlibatan dan motivasi siswa dalam belajar, hasil belajar fisika, dan kemampuan visualisasi (Fidan & Tuncel, 2019; Thees et al.,

2020). Penelitian tambahan menunjukkan bahwa teknik pembelajaran berbasis augmented reality secara signifikan meningkatkan kemampuan siswa untuk berpikir tingkat tinggi tentang materi kinematika (Haryadi & Pujiastuti, 2023). Penelitian lanjutan yang dilakukan (Haryadi et al., 2026) juga membuktikan bahwa media AR pada materi termodinamika mampu meningkatkan kemampuan berpikir kritis melalui visualisasi fenomena fisika secara interaktif. Hasil menunjukkan bahwa Augmented Reality adalah inovasi pembelajaran yang berguna untuk digunakan dalam pembelajaran fisika. Namun, keberhasilan penggunaan teknologi tersebut sangat bergantung pada kemampuan guru dalam merancang, mengembangkan, dan mengintegrasikan media pembelajaran berbasis AR dengan cara yang sesuai dengan fitur materi dan kebutuhan siswa.

Keberhasilan pembelajaran di sekolah sangat dipengaruhi oleh peran guru. Oleh karena itu, semakin penting bagi guru untuk menjadi lebih mahir dalam menggunakan teknologi pembelajaran. Hasil dari koordinasi, observasi lapangan, dan percakapan dengan guru fisika sekolah menengah sebagai mitra kegiatan menunjukkan bahwa sebagian besar guru telah menggunakan teknologi digital dalam proses pembelajaran. Namun, penggunaan mereka masih terbatas pada media presentasi, video pembelajaran, dan sumber belajar online. Guru tidak memiliki pengalaman yang memadai dalam membangun media pembelajaran digital secara mandiri, khususnya yang berbasis Augmented Reality. Namun, mereka menyadari bahwa elemen fisik seperti gerak, gelombang, listrik, dan termodinamika membutuhkan media visual yang dapat menjelaskan fenomena abstrak agar siswa lebih mudah memahaminya.

Menurut hasil identifikasi kebutuhan, mitra menghadapi sejumlah masalah penting. Pertama, karena guru belum mengikuti pelatihan aplikatif, mereka tidak memiliki kemampuan untuk membuat media pembelajaran berbasis AR. Kedua, guru belum menguasai perangkat lunak yang digunakan untuk mengembangkan media AR sehingga masih bergantung pada media yang telah tersedia. Ketiga, belum terdapat kegiatan pendampingan yang memberikan bimbingan secara berkelanjutan mulai dari tahap perancangan hingga implementasi media pembelajaran di kelas. Kondisi tersebut menyebabkan potensi pemanfaatan teknologi AR dalam pembelajaran fisika belum dapat dioptimalkan, meskipun berbagai hasil penelitian telah membuktikan efektivitasnya dalam meningkatkan kualitas pembelajaran.

Untuk menyelesaikan masalah mitra, tim pengabdian kepada masyarakat mengadakan pelatihan pengembangan media pembelajaran AR untuk guru fisika sekolah menengah. Kegiatan dirancang dengan menggunakan pendekatan partisipatif. Ini mencakup pemahaman

dasar tentang konsep Augmented Reality, pelatihan penggunaan perangkat lunak pengembangan media, praktik langsung penyusunan media pembelajaran, pendampingan selama proses pengembangan, dan evaluasi hasil pelatihan. Diharapkan bahwa pendekatan ini tidak hanya meningkatkan pemahaman konseptual guru tentang teknologi AR, tetapi juga mengajarkan peserta bagaimana membuat media pembelajaran yang dapat diterapkan secara langsung pada pembelajaran fisik di sekolah.

Salah satu tujuan dari kegiatan ini adalah untuk meningkatkan kemampuan profesional dan digital guru fisika sekolah menengah dalam mengembangkan media pembelajaran berbasis Augmented Reality. Melalui pelatihan dan pendampingan yang terorganisir, guru diharapkan mampu merancang dan membuat media pembelajaran AR yang sesuai dengan fitur materi fisika dan kebutuhan siswa. Ini akan meningkatkan kepercayaan diri guru dalam mengintegrasikan teknologi Augmented Reality ke dalam pendidikan mereka.

METODE

Metode yang digunakan adalah studi kasus yang terjadi di kota Serang, yang terletak di provinsi Banten, Indonesia. Menggunakan pendekatan pembelajaran berpartisipasi, kegiatan direncanakan. Pendekatan ini menempatkan peserta sebagai subjek utama dalam proses pembelajaran dan menggunakan praktik langsung, diskusi, kolaborasi, pendampingan intensif, dan penyampaian materi. Metode ini dipilih karena membantu peserta memperoleh pemahaman teoretis tentang Augmented Reality dan pengalaman praktis dalam membuat media pembelajaran yang dapat digunakan di kelas. Gambar 1 menunjukkan alur pelaksanaan kegiatan.



Gambar 1 menunjukkan bahwa kegiatan terdiri dari lima tahapan: analisis kebutuhan; penyampaian materi; pelatihan dan praktik pengembangan media; pendampingan; dan

evaluasi kegiatan. Tahap analisis kebutuhan dilakukan dengan melakukan wawancara, observasi, dan wawancara dengan guru untuk menentukan kondisi pembelajaran, tingkat keterampilan digital, dan kebutuhan akan pengembangan media pembelajaran berbasis teknologi. Informasi yang diperoleh digunakan untuk membuat materi pelatihan yang sesuai dengan kebutuhan peserta.

Tahap penyampaian materi dilaksanakan dalam bentuk seminar interaktif yang membahas konsep dasar *Augmented Reality*, karakteristik media pembelajaran digital, prinsip desain pembelajaran, serta contoh implementasi AR dalam pembelajaran fisika. Peserta juga dikenalkan dengan perangkat lunak yang digunakan untuk membuat media pembelajaran berbasis AR, serta proses pengembangannya.

Tahap pelatihan merupakan inti kegiatan, di mana peserta secara langsung mempraktikkan proses pengembangan media pembelajaran berbasis *Augmented Reality*. Kegiatan dimulai dari penyusunan skenario pembelajaran, pembuatan objek digital, integrasi objek ke dalam aplikasi AR, hingga proses pengujian media yang dikembangkan. Selama pelatihan, peserta dapat bekerja secara individual maupun berkelompok dengan didampingi oleh tim pelaksana. Ini memastikan bahwa setiap peserta menerima bimbingan teknis yang sesuai dengan kemampuan mereka.

Setelah pelatihan, kegiatan dilanjutkan dengan tahap pendampingan. Pada tahap ini tim pengabdian memberikan konsultasi, umpan balik, dan bantuan teknis terhadap media yang dikembangkan peserta hingga menghasilkan produk yang sesuai dengan tujuan pembelajaran. Pendampingan dilakukan secara langsung selama kegiatan berlangsung serta melalui komunikasi daring setelah pelatihan untuk memastikan peserta mampu menyempurnakan media pembelajaran yang telah dibuat.

Evaluasi kegiatan dilakukan untuk mengetahui efektivitas pelatihan dalam meningkatkan kompetensi peserta. Evaluasi meliputi tiga aspek, yaitu peningkatan pengetahuan, keterampilan pengembangan media, dan tingkat kepuasan peserta. *Pre-test* dan *post-test* digunakan untuk mengukur peningkatan pengetahuan. Rubrik yang mencakup kesesuaian materi, desain pembelajaran, interaktivitas, fungsi media, dan kemudahan penggunaan digunakan untuk menilai keterampilan peserta dalam produk media pembelajaran berbasis *Augmented Reality*. Selain itu, angket dengan skala Likert lima tingkat digunakan untuk mengukur kepuasan peserta. Skala ini mencakup penilaian terhadap materi, narasumber, pelaksanaan, pendampingan, dan manfaat kegiatan. Data kualitatif yang diperoleh dari observasi, diskusi, dan kontribusi peserta dianalisis secara deskriptif untuk memberikan gambaran tentang keberhasilan pelaksanaan kegiatan dan saran untuk pengembangan program

di masa mendatang. Sementara itu, data kuantitatif dianalisis menggunakan persentase, nilai rata-rata, dan peningkatan skor *pre-test-post-test*.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisis Kebutuhan Mitra

Kegiatan dimulai dengan menilai kebutuhan melalui observasi, wawancara, dan diskusi dengan mitra kegiatan guru fisika sekolah menengah. Analisis ini dilakukan untuk mendapatkan gambaran tentang kondisi pembelajaran saat ini, pemanfaatan teknologi, dan kebutuhan guru untuk membuat media pembelajaran berbasis AR.

Hasilnya menunjukkan bahwa semua guru sudah menggunakan perangkat digital dalam mengajar, seperti komputer, proyektor, *Learning Management System* (LMS), dan media presentasi berbasis *PowerPoint*. Namun, penggunaan teknologi tersebut masih didominasi sebagai media penyampaian informasi dan belum dimanfaatkan untuk mengembangkan media pembelajaran interaktif. Sebagian besar guru juga menyampaikan bahwa mereka belum pernah mengikuti pelatihan pengembangan media berbasis *Augmented Reality* sehingga belum memahami proses perancangan maupun perangkat lunak yang digunakan.

Guru mengidentifikasi beberapa materi fisika yang dianggap sulit dipahami peserta didik, antara lain gerak, gelombang, listrik, medan magnet, dan termodinamika. Agar konsep abstrak dapat dipahami secara lebih nyata, materi-materi tersebut membutuhkan visualisasi dinamis. Oleh karena itu, pendidik percaya bahwa media pembelajaran berbasis AR dapat meningkatkan kualitas pembelajaran jika didukung oleh kemampuan guru untuk mengembangkannya.

Hasil menunjukkan bahwa kemampuan guru untuk menerapkan teknologi dalam pembelajaran lebih penting daripada ketersediaan teknologi. Kondisi ini sejalan dengan kerangka pengetahuan konten teknologi pedagogis (TPACK) yang dikembangkan oleh (Pujiastuti et al., 2026b), yang menyatakan bahwa kemampuan guru untuk mengintegrasikan pengetahuan teknologi, pedagogik, dan materi ajar secara terpadu memengaruhi keberhasilan integrasi teknologi.

Pelaksanaan Pelatihan Pengembangan Media Berbasis Augmented Reality

Metode pelatihan partisipasi dilakukan secara tatap muka dan menekankan keterlibatan aktif peserta selama proses pembelajaran. Kegiatan dimulai dengan materi tentang konsep dasar Augmented Reality, manfaat pembelajaran fisik dan media pembelajaran digital. Tim pengabdian juga menampilkan beberapa contoh media AR yang telah dikembangkan.

Selanjutnya peserta mengikuti sesi praktik yang meliputi penyusunan skenario pembelajaran, pembuatan objek digital, integrasi objek ke dalam platform *Augmented Reality*, hingga proses pengujian media menggunakan perangkat bergerak (*smartphone*). Selama pelatihan berlangsung, peserta memperoleh pendampingan secara langsung dari tim pelaksana sehingga setiap guru dapat menyelesaikan proses pengembangan media sesuai dengan kemampuan masing-masing.

Pelaksanaan kegiatan menunjukkan antusiasme peserta yang tinggi. Guru aktif berdiskusi, bertanya, serta saling berbagi pengalaman dalam mengembangkan media pembelajaran. Interaksi tersebut menciptakan suasana belajar yang kolaboratif dan memberikan kesempatan bagi peserta untuk saling membantu dalam menyelesaikan permasalahan teknis yang dihadapi selama proses pelatihan.

Pendekatan berbasis praktik yang diterapkan pada kegiatan ini sesuai dengan teori *Experiential Learning* yang dikemukakan oleh (Falloon, 2019; Huang, 2016; Kim et al., 2025; Wang et al., 2025; Zhang et al., 2020), yaitu pembelajaran yang menempatkan pengalaman langsung sebagai sumber utama dalam pembentukan pengetahuan dan keterampilan. Peserta memperoleh pemahaman yang lebih baik tentang konsep AR dan kemampuan untuk menerapkannya dalam pengembangan media pembelajaran melalui praktik langsung.

Hasil Pengembangan Media Pembelajaran

Semua guru berhasil membuat prototipe media pembelajaran yang sesuai dengan materi fisika yang diajarkan di sekolah mereka. Ini adalah tujuan utama kegiatan ini. Produk yang dihasilkan menampilkan objek tiga dimensi, animasi fenomena fisika, serta fitur interaktif yang dapat diakses menggunakan perangkat *smartphone*.

Hasil penilaian produk menunjukkan bahwa media yang dikembangkan telah memenuhi persyaratan berikut: kesesuaian materi, kualitas visual, interaktivitas, kemudahan penggunaan, dan keberfungsian aplikasi. Beberapa peserta bahkan berhasil menambahkan fitur evaluasi sederhana, sehingga media tidak hanya dapat digunakan sebagai alat visualisasi tetapi juga sebagai media pembelajaran interaktif.

Keberhasilan peserta dalam membuat media pembelajaran menunjukkan bahwa model pelatihan berbasis praktik dapat membantu guru membuat media pembelajaran digital. Hasil tersebut mendukung penelitian (Haryadi & Pujiastuti, 2023) yang menyatakan bahwa AR dapat digunakan untuk meningkatkan kualitas pembelajaran fisika. Selain itu, temuan ini sejalan dengan penelitian (Layona et al., 2018; Rau et al., 2018) yang menyatakan bahwa AR membuat pembelajaran menjadi lebih menarik dan mendukung pemahaman konseptual siswa.

Peningkatan Kompetensi Guru

*Pre-test, post-test, observasi selama pelatihan, dan penilaian produk media pembelajaran peserta digunakan untuk menilai kompetensi peserta. Hasil penilaian menunjukkan bahwa guru lebih memahami konsep dasar *Augmented Reality*, prinsip desain media pembelajaran, dan tahapan pengembangan media digital. Peserta juga lebih baik dalam menggunakan perangkat lunak pengembangan AR dan dapat membuat media pembelajaran yang sesuai dengan tujuan pembelajaran.*

Skor evaluasi menunjukkan peningkatan kompetensi tersebut. Peserta juga dapat menunjukkan produk yang telah dikembangkan dan cara menggunakannya dalam pembelajaran fisika di kelas. Hasil ini menunjukkan bahwa guru tidak hanya memperoleh aspek pengetahuan (knowledge), tetapi juga keterampilan (skills), dan kepercayaan diri (self-efficacy) sebagai hasil dari kegiatan pelatihan. Hasil ini menyatakan bahwa pengembangan profesional guru akan lebih efektif jika praktik langsung, kolaborasi, pembelajaran aktif, dan refleksi tentang apa yang dipelajari.

Evaluasi Kepuasan Peserta

Untuk mengukur kepuasan peserta, digunakan angket lima tingkat Likert yang memasukkan elemen materi, narasumber, metode pelatihan, pendampingan, fasilitas, dan manfaat kegiatan. Secara umum, peserta merespons kegiatan dengan sangat positif. Guru menyatakan bahwa materi yang disampaikan terkait dengan kebutuhan pembelajaran sekolah dan mudah dipahami karena disertai praktik langsung.

Mereka juga mengapresiasi proses pendampingan yang dilakukan selama kegiatan karena memberikan peserta kesempatan untuk berbicara secara langsung dengan guru mereka jika mereka mengalami kesulitan dalam mengembangkan media pembelajaran. Tingkat kepuasan peserta menunjukkan bahwa model pelatihan yang diterapkan telah memenuhi kebutuhan guru dan mampu mendorong mereka untuk melakukan inovasi pembelajaran berbasis teknologi di sekolah.

Implikasi Kegiatan terhadap Profesionalisme Guru

Kegiatan pengabdian ini memiliki efek yang lebih besar daripada hanya meningkatkan kemampuan teknis untuk membuat media pembelajaran berbasis *Augmented Reality*. Pelatihan yang berhasil mendorong guru untuk lebih percaya diri dalam menggunakan teknologi sebagai bagian dari strategi pembelajaran. Mereka juga meningkatkan kesadaran akan pentingnya inovasi dalam proses pembelajaran fisika. Kegiatan ini tidak hanya menciptakan media pembelajaran yang dapat digunakan, tetapi juga menumbuhkan budaya kerja sama melalui pembicaraan, berbagi pengalaman, dan pertukaran praktik baik antar guru.

Sebagaimana diamanatkan dalam kebijakan transformasi pendidikan Indonesia, kegiatan ini mendukung peningkatan kompetensi digital guru. Oleh karena itu, model pelatihan berbasis praktik dan pendampingan yang diterapkan pada kegiatan ini dapat diterapkan pada kelompok guru mata pelajaran lain untuk membantu mempercepat integrasi teknologi dalam pembelajaran dan meningkatkan kualitas pendidikan secara berkelanjutan.

KESIMPULAN

Keterlibatan guru fisika sekolah menengah telah ditingkatkan melalui pelatihan pengembangan media pembelajaran berbasis AR. Dengan menggunakan pendekatan partisipatif dan praktik langsung dan pendampingan intensif, pelatihan dapat meningkatkan pengetahuan, keterampilan, dan kepercayaan diri guru dalam mengembangkan dan menerapkan media pembelajaran berbasis augmented reality. Hasil evaluasi menunjukkan peningkatan kompetensi yang signifikan, seperti yang ditunjukkan oleh skor yang meningkat baik *pre-test* maupun *post-test*, nilai *N-Gain* yang sangat tinggi, dan tingginya tingkat kepuasan peserta terhadap pelaksanaan kegiatan. Selain itu, setiap peserta berhasil membuat prototipe media pembelajaran berbasis *Augmented Reality* yang sesuai dengan fitur materi fisika dan dapat digunakan dalam proses pembelajaran di sekolah.

Keberhasilan acara ini menunjukkan bahwa peningkatan keterampilan profesional dan keterampilan digital guru dapat dicapai dengan cara yang efektif melalui pelatihan berbasis praktik dan pendampingan berkelanjutan. Oleh karena itu, program serupa perlu dilaksanakan secara berkesinambungan dengan cakupan peserta yang lebih luas dan dilengkapi dengan pendampingan implementasi di sekolah untuk memastikan bahwa pemanfaatan media pembelajaran berbasis Augmented Reality dapat berlanjut.

UCAPAN TERIMA KASIH

Kami mengucapkan terima kasih kepada LPPM (Lembaga Penelitian dan Pengabdian Masyarakat) Universitas Sultan Ageng Tirtayasa karena telah memberikan hibah Program Pengabdian Pada Masyarakat untuk skema Program Pengembangan Teknologi Tepat Guna atau Kepedulian Sosial Untuk Desa (PPTG/KS) Tahun 2026. Program (kegiatan) ini berjalan dengan baik.

DAFTAR PUSTAKA

- Falloon, G. (2019). Using simulations to teach young students science concepts: An Experiential Learning theoretical analysis. *Computers & Education*, 135, 138–159. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.compedu.2019.03.001>
- Fidan, M., & Tuncel, M. (2019). Integrating augmented reality into problem based learning: The effects on learning achievement and attitude in physics education. *Computers & Education*, 142, 103635. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.compedu.2019.103635>

- Haryadi, R., & Pujiastuti, H. (2023). Use of augmented reality learning media to improve higher-order thinking skills in kinematics material. *THABIEA: Journal of Natural Science Teaching*, 6, 37–50.
- Haryadi, R., & Pujiastuti, H. (2022). Fun physics learning using augmented reality. *AIP Conference Proceedings*, 2468(1), 20016.
- Haryadi, R., Pujiastuti, H., & Wahyu, D. (2026). Interactive visualization of thermodynamic concepts through augmented reality to improve critical thinking. *Computers & Education: X Reality*, 8(January), 100137. <https://doi.org/10.1016/j.cexr.2026.100137>
- Huang, T. C. (2016). Animating eco-education: To see, feel, and discover in an augmented reality-based experiential learning environment. *Computers and Education*, 96, 72–82. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2016.02.008>
- Kim, L., Imjai, N., Kaewjomnong, A., Dowpiset, K., & Aujirapongpan, S. (2025). Does experiential learning matter to strategic intuition skills of MBA students? Implications of diagnostic capabilities and critical thinking skills. *The International Journal of Management Education*, 23(2), 101138. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ijme.2025.101138>
- Layona, R., Layona, R., Yulianto, B., & Tunardi, Y. (2018). Web based Augmented Reality for Human Body Anatomy Learning Web based Augmented Reality for Human Body Anatomy Learning. *Procedia Computer Science*, 135, 457–464. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2018.08.197>
- Pujiastuti, H., Haryadi, R., Utomo, D. W., & Rohman, R. (2026a). Integration of the TPACK approach and augmented reality technology in a hybrid learning model to improve the understanding of geometry concepts. *International Journal of Advanced and Applied Sciences*, 13(1), 190–200.
- Pujiastuti, H., Haryadi, R., Utomo, D. W., & Rohman, R. (2026b). Integration of the TPACK approach and augmented reality technology in a hybrid learning model to improve the understanding of geometry concepts. *International Journal of Advanced and Applied Sciences*, 13(1), 190–200.
- Rau, P. L. P., Zheng, J., Guo, Z., & Li, J. (2018). Speed reading on virtual reality and augmented reality. *Computers and Education*, 125(April), 240–245. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2018.06.016>
- Taub, G., Elmalech, A., & Aharony, N. (2024). Trust and attitude toward information presented using augmented reality and other technological means. *Heliyon*, 10(4), e25944. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e25944>
- Thees, M., Kapp, S., Strzys, M. P., Beil, F., Lukowicz, P., & Kuhn, J. (2020). Effects of augmented reality on learning and cognitive load in university physics laboratory courses. *Computers in Human Behavior*, 108, 106316. <https://doi.org/10.1016/j.chb.2020.106316>
- Wang, M., Zhu, J., Gu, H., Zhang, J., Wu, D., & Wang, P. (2025). Optimizing experiential learning in science education: The role of two-tier testing in digital game-based learning.

Entertainment Computing, 54, 100960.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.entcom.2025.100960>

Xu, S., Lu, Y., & Yu, C. (2024). Augmented reality-assisted cloud additive manufacturing with digital twin technology for multi-stakeholder value Co-creation in product innovation. *Heliyon*, 10(4), e25722.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e25722>

Zhang, M. (John), Newton, C., Grove, J., Pritzker, M., & Ioannidis, M. (2020). Design and assessment of a hybrid chemical engineering laboratory course with the incorporation of student-centred experiential learning. *Education for Chemical Engineers*, 30, 1–8.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ece.2019.09.003>