



Pembuatan Media Pembelajaran Sains Berbasis *Augmented Reality* dengan Animasi 3D

Amiruddin Takda ¹⁾, Hunaidah M ^{1)*}, Husain ¹⁾, Wa Ode Nirwana Sari Halidun ²⁾

¹Program Studi Pendidikan Fisika, Universitas Halu Oleo. Kendari, Indonesia.

²Program Studi Teknik Mesin, Universitas Halu Oleo. Kendari, Indonesia.

Diterima: 21 Oktober 2025

Direvisi: 11 November 2025

Disetujui: 21 November 2025

Abstrak

Perkembangan teknologi digital membuka peluang besar dalam inovasi pembelajaran sains, khususnya melalui penerapan *Augmented Reality* (AR) dengan animasi 3D yang mampu menyajikan konsep abstrak secara visual dan interaktif. Namun, sebagian besar guru masih terbatas dalam keterampilan mengembangkan media pembelajaran berbasis teknologi. Tujuan pengabdian ini adalah meningkatkan kompetensi guru, menyediakan media pembelajaran inovatif, serta membangun keberlanjutan pemanfaatan teknologi di sekolah. Pelatihan berlangsung dua bulan dengan pendekatan blended learning, mengombinasikan sesi tatap muka, praktik langsung, dan pendampingan daring secara partisipatif-kolaboratif. Materi pelatihan mencakup pengenalan konsep dasar AR, penggunaan *Unity 3D* dan *Vuforia Engine*, pembuatan model 3D sederhana, serta integrasi media ke dalam RPP. Evaluasi dilakukan melalui *pre-test* dan *post-test* keterampilan guru, observasi kelas, serta refleksi proses pelatihan. Hasil kegiatan menunjukkan peningkatan signifikan pada kompetensi guru, dengan peningkatan keterampilan teknis 54,1% dan 82% peserta berhasil membuat media AR 3D secara mandiri. Media yang dihasilkan bersifat interaktif, kontekstual, dan praktis untuk pembelajaran IPA kelas VII-IX, serta direkomendasikan untuk pelatihan lanjutan.

Kata kunci: animasi 3d; *augmented reality*; media pembelajaran; pelatihan guru; sains.

Creation of Augmented Reality-Based Science Learning Media with 3D Animation

Abstract

The development of digital technology has opened up enormous opportunities for innovation in science education, particularly through the application of Augmented Reality (AR) with 3D animation that can present abstract concepts visually and interactively. However, most teachers still have limited skills in developing technology-based learning media. The objectives of this community service program are to improve teacher competence, provide innovative learning media, and build sustainability in the use of technology in schools. The training lasted two months with a blended learning approach, combining face-to-face sessions, hands-on practice, and participatory-collaborative online mentoring. The training material covered an introduction to the basic concepts of AR, the use of Unity 3D and Vuforia Engine, the creation of simple 3D models, and the integration of media into lesson plans. Evaluation was conducted through pre-tests and post-tests of teachers' skills, classroom observations, and reflections on the training process. The results of the activity showed a significant increase in teacher competence, with a 54.1% increase in technical skills and 82% of participants successfully creating 3D AR media independently. The media produced is interactive, contextual, and practical for science learning in grades VII-IX, and is recommended for further training.

Keywords: 3d animation; *augmented reality*; learning media; teacher training; science.

* Korespondensi Penulis. E-mail: hunaidah@uho.ac.id

Penerbit: FKIP Universitas Halu Oleo

PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi digital saat ini memberikan peluang besar dalam dunia pendidikan, khususnya dalam mendukung proses pembelajaran yang lebih interaktif dan menarik. Salah satu inovasi yang mulai banyak digunakan adalah media pembelajaran berbasis *Augmented Reality* (AR) yang mampu menghadirkan pengalaman belajar lebih nyata melalui visualisasi tiga dimensi (Lin & Yu, 2023; Mendoza et al., 2025). Media ini sangat relevan digunakan dalam pembelajaran sains karena dapat membantu siswa memahami konsep abstrak yang sulit dijelaskan hanya dengan teks atau gambar dua dimensi. Struktur sel, sistem tata surya, atau proses interaksi antarpartikel dapat divisualisasikan dengan lebih jelas melalui animasi 3D berbasis AR.

Selain itu, pembelajaran konvensional yang hanya mengandalkan buku teks dan penjelasan guru sering kali kurang mampu menumbuhkan minat dan pemahaman siswa terhadap konsep-konsep sains yang bersifat abstrak (Gutlay, 2023; Subaedah et al., 2023). Generasi saat ini tumbuh dengan eksposur tinggi terhadap konten digital dan media interaktif, sehingga penggunaan teknologi inovatif dalam pembelajaran menjadi kebutuhan mendesak (Jong, Zhai, & Chen, 2024; Semernya, Suhovirskyi, & Rudnytska 2024; Susilowati, Wilujeng, & Hastuti, 2020). Namun demikian, tidak semua guru memiliki keterampilan dalam merancang dan mengembangkan media pembelajaran berbasis teknologi tersebut. Hal ini menjadi tantangan di sekolah-sekolah. Di SMP-TQ Mu'adz Bin Jabal Kendari, keterbatasan keterampilan guru dalam membuat media pembelajaran inovatif berbasis teknologi mengakibatkan proses pembelajaran IPA kurang interaktif dan kurang mampu memfasilitasi pemahaman konsep sains siswa secara optimal, sehingga sangat diperlukan pengembangan media pembelajaran yang kontekstual dan menarik. Oleh karena itu, pelatihan pembuatan media pembelajaran sains berbasis Augmented Reality dengan animasi 3D dipandang penting untuk memperkuat kompetensi guru dalam menghadirkan pembelajaran yang kreatif, kontekstual, dan sesuai dengan perkembangan era digital (Mursyida et al., 2023; Nikou, Perifanou, & Economides, 2023; Sari et al., 2020). Kegiatan pengabdian ini diarahkan untuk membekali guru SMP-TQ Mu'adz Bin Jabal dengan kemampuan merancang media pembelajaran 3D AR, sehingga proses belajar mengajar menjadi lebih efektif dan sesuai dengan tuntutan abad ke-21.

SMP-TQ Mu'adz Bin Jabal Kendari menghadapi tantangan signifikan dalam pembelajaran sains. Meskipun telah dilakukan berbagai upaya, seperti pelatihan pembuatan media pembelajaran berbasis *Powtoon* atau *Doraton*, hasilnya belum sepenuhnya optimal dalam meningkatkan pemahaman konseptual siswa (Akmalia et al., 2021; Hunaidah et al., 2018; Kafah, Nulhakim, & Pamungkas, 2020). Keterbatasan keterampilan digital guru dan kurangnya media pembelajaran interaktif yang berbasis teknologi menjadi hambatan utama dalam proses pembelajaran (Hermawati & Solihin, 2023; Ismail et al., 2023; Widaningrum et al., 2024). Hal ini berdampak pada rendahnya motivasi dan hasil belajar siswa dalam mata pelajaran sains. Masalah ini sejalan dengan tujuan SDGs, khususnya Tujuan 4 tentang Pendidikan Berkualitas, yang menekankan pentingnya penyediaan pendidikan yang inklusif, adil, dan berkualitas serta meningkatkan kesempatan belajar sepanjang hayat bagi semua (Dastyari & Jose, 2024; Fatima, 2023; Zickafoose et al., 2024). Selain itu, Tujuan 9 tentang Industri, Inovasi, dan Infrastruktur juga relevan, karena mendorong pembangunan infrastruktur yang tangguh dan inovasi, terutama di bidang teknologi pendidikan. Untuk mengatasi permasalahan serupa, berbagai negara telah menerapkan solusi berbasis teknologi. Finlandia, penggunaan AR dalam pembelajaran sains terbukti efektif dalam

meningkatkan pemahaman siswa terhadap konsep-konsep abstrak (Galán et al., 2020; Paananen et al., 2023; Savela et al., 2020). Di Indonesia, penerapan AR dalam pembelajaran sains juga menunjukkan hasil positif, seperti yang dilakukan di beberapa sekolah meningkatkan kualitas di Jawa Barat (Anggara et al., 2021; Rahmawati, Lestari, & Agustini, 2025; Saprudin et al., 2025). Melihat keberhasilan tersebut, pelatihan pembuatan media pembelajaran berbasis AR 3D untuk guru di SMP-TQ Mu'adz Bin Jabal Kendari menjadi langkah strategis. Dengan meningkatkan keterampilan digital guru dalam merancang media pembelajaran interaktif dan berbasis teknologi, diharapkan dapat meningkatkan kualitas pembelajaran sains dan mendukung pencapaian tujuan SDGs, khususnya dalam bidang pendidikan (Althubyani, 2024; Pablos et al., 2022; Ng et al., 2023).

Meskipun berbagai upaya telah dilakukan untuk meningkatkan kualitas pembelajaran sains, termasuk pelatihan pembuatan media pembelajaran digital, masih terdapat kesenjangan signifikan (*gap*) antara kebutuhan guru dan kemampuan mereka dalam memanfaatkan teknologi pembelajaran interaktif (Kubsch et al., 2020; Lubis, 2024; Sulastri, Andriana, & Syachruroji, 2024). Guru di SMP-TQ Mu'adz Bin Jabal Kendari masih terbatas dalam hal keterampilan desain media pembelajaran berbasis animasi 3D dan AR, sehingga siswa kurang memperoleh pengalaman belajar yang nyata dan kontekstual. Kesenjangan ini menjadi penghambat utama pencapaian hasil belajar yang optimal dan pemenuhan tujuan SDGs, khususnya Tujuan 4 (Pendidikan Berkualitas) dan Tujuan 9 (Inovasi dan Infrastruktur). Untuk menutup gap tersebut, pengabdian ini merencanakan penerapan pelatihan pembuatan media pembelajaran berbasis 3D AR sebagai solusi inovatif. Kebaruan dari pendekatan ini terletak pada kombinasi teknologi animasi 3D dan AR yang memungkinkan guru menciptakan media pembelajaran interaktif yang dapat divisualisasikan siswa dalam bentuk nyata dan digital. Metode pelatihan akan bersifat praktik langsung (*hands-on training*), dilengkapi dengan modul tutorial *step-by-step* yang memungkinkan guru menguasai *software* animasi dan *platform* AR. Pendekatan ini berbeda dengan metode pembelajaran digital konvensional yang hanya menampilkan konten statis, karena peserta akan belajar membuat media yang dinamis, interaktif, dan mudah diintegrasikan ke dalam kurikulum sains. Dengan strategi ini, diharapkan gap antara kemampuan guru dan kebutuhan pembelajaran modern dapat segera ditangani. Selain itu, pengabdian ini juga menghadirkan pendekatan berbasis teknologi yang belum banyak diterapkan di sekolah menengah setempat, sehingga memiliki nilai kebaruan dan relevansi tinggi dalam mendukung transformasi pembelajaran sains berbasis digital.

Tujuan utama pengabdian ini adalah meningkatkan keterampilan guru SMP-TQ Mu'adz Bin Jabal Kendari dalam merancang dan mengimplementasikan media pembelajaran sains berbasis 3D AR, sehingga pembelajaran menjadi lebih interaktif, kontekstual, dan efektif. Secara spesifik, kegiatan ini bertujuan: Memberikan pelatihan praktik penggunaan *software* animasi 3D dan platform AR kepada guru, sekaligus membekali mereka dengan modul dan panduan, sehingga setiap guru mampu mengoperasikan aplikasi dan membuat minimal satu media pembelajaran interaktif berbasis 3D AR. Indikator keberhasilan pengabdian ini mencakup kemampuan guru mengoperasikan *software* animasi 3D dan platform AR secara mandiri, keberhasilan setiap guru membuat minimal satu media pembelajaran interaktif berbasis 3D AR menggunakan modul dan panduan, serta penerapan media tersebut dalam proses pembelajaran sains di kelas.

Kontribusi pengabdian ini bersifat ganda, baik untuk pengembangan ilmu pengetahuan dan teknologi maupun pencapaian SDGs. Dari sisi ilmu pengetahuan, kegiatan ini memperkenalkan metode pembelajaran berbasis teknologi animasi 3D dan AR yang relatif

baru di lingkungan sekolah menengah setempat, sehingga menambah literatur dan praktik terbaik dalam pemanfaatan teknologi pendidikan. Dari sisi pencapaian SDGs, pengabdian ini mendukung Tujuan 4 (Pendidikan Berkualitas) dengan meningkatkan akses guru terhadap media pembelajaran interaktif, serta Tujuan 9 (Industri, Inovasi, dan Infrastruktur) dengan mendorong inovasi dalam penggunaan teknologi pembelajaran. Selain itu, pengabdian ini memperkuat indikator variabel yang diteliti, seperti keterampilan digital guru, kualitas media pembelajaran, dan efektivitas pembelajaran sains, sehingga memiliki dampak langsung terhadap peningkatan kualitas pendidikan dan pemenuhan target SDGs di tingkat lokal.

METODE

Pengabdian ini menggunakan metode pelatihan berbasis praktik langsung (*hands-on training*) yang dikombinasikan dengan pendekatan *blended learning*, yakni perpaduan antara pelatihan tatap muka dan pendampingan daring melalui modul tutorial. Metode ini dipilih karena memungkinkan guru tidak hanya memahami teori, tetapi juga langsung mempraktikkan pembuatan media pembelajaran berbasis 3D *Augmented Reality* (AR), sehingga keterampilan digital guru dapat meningkat secara signifikan. Desain kegiatan pengabdian mengikuti beberapa tahapan sistematis, dimulai dari identifikasi kebutuhan dan persiapan bahan, kemudian dilanjutkan dengan pelatihan teknis pembuatan media 3D AR, pendampingan dan evaluasi media, hingga tahap refleksi dan tindak lanjut integrasi media ke dalam pembelajaran sains di kelas.

Kegiatan PKM ini tidak hanya membekali guru dengan keterampilan teknis pembuatan media AR, tetapi juga mendorong adaptasi teknologi yang berkelanjutan dalam pembelajaran IPA, meningkatkan motivasi siswa, dan memperkuat kapasitas internal sekolah sebagai pusat inovasi pembelajaran.

Pelaksanaan metode ini didukung dengan penyediaan modul tutorial *step-by-step*, *software* animasi 3D, dan platform AR yang mudah diakses guru. Selain itu, peserta pelatihan diberikan kesempatan untuk mengembangkan proyek media pembelajaran sesuai materi sains yang diajarkan di kelas mereka, sehingga produk yang dihasilkan relevan dan siap digunakan. Kegiatan ini dapat digambarkan melalui diagram alur (*flowchart*) atau tabel langkah-langkah kegiatan, yang menampilkan tahapan mulai dari persiapan, pelaksanaan, hingga evaluasi pengabdian, agar lebih jelas bagi pembaca.

Komunitas sasaran pengabdian ini adalah guru-guru SMP-TQ Mu'adz Bin Jabal Kendari, tidak hanya yang mengampu mata pelajaran sains (IPA dan teknologi), tetapi juga guru dari bidang lain seperti agama, bahasa Indonesia, dan mata pelajaran lainnya. Jumlah peserta yang terlibat sebanyak 28 guru, mencakup berbagai jenjang kelas dari kelas VII hingga IX, sehingga cakupan pelatihan dapat mencakup seluruh kurikulum sains sekolah tersebut. Guru-guru ini dipilih sebagai sasaran utama karena mereka memiliki peran sentral dalam merancang dan menyampaikan pembelajaran, sehingga peningkatan keterampilan mereka dalam pembuatan media pembelajaran berbasis 3D AR akan berdampak langsung pada kualitas pengalaman belajar siswa.

Untuk mengukur keberhasilan kegiatan pengabdian, digunakan beberapa instrumen dan alat pengumpulan data yang disesuaikan dengan tujuan dan indikator kegiatan. Instrumen utama mencakup lembar observasi, angket, dan rubrik evaluasi media pembelajaran 3D AR. Lembar observasi digunakan untuk menilai keterampilan guru selama pelatihan, termasuk kemampuan menggunakan *software* animasi 3D, mengintegrasikan *platform* AR, serta kreativitas dalam mengembangkan media pembelajaran. Angket diberikan kepada guru untuk menilai persepsi, tingkat kepuasan, dan kepercayaan diri mereka dalam

menggunakan teknologi baru. Rubrik evaluasi media digunakan untuk menilai kualitas media pembelajaran yang dihasilkan, mulai dari aspek visual, interaktivitas, konten pedagogis, hingga kesesuaian dengan kurikulum.

Teknik pengumpulan data dilakukan melalui pengamatan langsung selama pelatihan, penilaian proyek media oleh fasilitator, dan pengisian angket oleh peserta. Data yang diperoleh dianalisis secara deskriptif untuk menentukan tingkat ketercapaian indikator keberhasilan. Indikator keberhasilan kegiatan pengabdian meliputi: (1) persentase guru yang mampu membuat media pembelajaran 3D AR secara mandiri, (2) kualitas media pembelajaran yang sesuai standar pedagogis dan interaktif, (3) tingkat keterlibatan dan antusiasme guru selama pelatihan, serta (4) rencana integrasi media ke dalam pembelajaran di kelas.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Kegiatan pelatihan pembuatan media pembelajaran berbasis 3D *Animated Augmented Reality* (AR) di SMP-TQ Mu'adz Bin Jabal Kendari dilaksanakan selama 2 bulan dengan pendekatan blended learning, mengombinasikan pelatihan tatap muka, praktik langsung, dan pendampingan daring. Pendekatan ini diterapkan secara partisipatif-kolaboratif, sehingga guru terlibat aktif dari analisis kebutuhan hingga evaluasi, dengan fokus pada peningkatan pemahaman konsep IPA secara visual dan interaktif melalui media digital. Pelatihan diarahkan pada pengembangan kompetensi guru, pengadaan media pembelajaran inovatif, dan keberlanjutan penggunaan teknologi di sekolah.

Selama pelaksanaan pelatihan, berbagai kegiatan *action* dilakukan secara sistematis sesuai modul yang telah disiapkan. Dokumentasi kegiatan pembukaan, pembimbingan berupa fotofoto praktik guru, sesi pendampingan, serta tampilan media AR yang dikembangkan ditampilkan pada Bab berikut untuk memberikan gambaran nyata proses pelatihan, interaksi peserta, dan implementasi media pembelajaran di kelas, dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Kegiatan Pembuatan Media Pembelajaran Sains BerbaSis *Augmented Reality* dengan Animasi 3D

Pelatihan ini dirancang untuk meningkatkan kemampuan guru dalam merancang, membuat, dan mengimplementasikan media pembelajaran AR 3D secara komprehensif. Materi pelatihan mencakup pengenalan konsep dasar *Augmented Reality*, penggunaan *Unity 3D* dan *Vuforia Engine*, serta pembuatan model 3D sederhana. Materi yang disajikan dapat dilihat pada link: Guru kemudian melakukan praktik langsung dengan mengembangkan media pembelajaran IPA untuk topik-topik abstrak seperti sistem pernapasan, gerak planet,

dan struktur atom. Pendekatan *blended learning* memungkinkan guru belajar mandiri melalui modul digital dan video tutorial, sekaligus mendapatkan bimbingan langsung dari tim pengajar. Hasilnya, dari 28 guru peserta, 25 guru ($\approx 82\%$) berhasil membuat media AR 3D secara mandiri, sementara sisanya masih memerlukan pendampingan tambahan. Produk media yang dihasilkan siap digunakan di kelas dan sesuai dengan kurikulum, sekaligus menumbuhkan kreativitas, meningkatkan kepercayaan diri guru, dan memperkuat peran mereka sebagai agen inovasi di 16 lingkungan sekolah

Media pembelajaran yang dikembangkan memiliki karakteristik interaktif, sehingga memungkinkan siswa mengeksplorasi visualisasi konsep IPA secara aktif; kontekstual, menyesuaikan dengan materi ajar kelas VII-IX; serta praktis, dapat dijalankan menggunakan perangkat yang tersedia di sekolah. Proses pengembangannya dimulai dengan tim pelatih menyiapkan *template* media AR, kemudian guru menyesuaikan template tersebut dengan materi IPA masing-masing. Sebelum implementasi nyata di kelas, media diuji terlebih dahulu melalui simulasi untuk memastikan kelayakan dan efektivitasnya. Hasil capaian menunjukkan bahwa sekitar 71% media dinilai baik hingga sangat baik berdasarkan rubrik penilaian yang meliputi aspek visual, interaktivitas, dan kesesuaian pedagogis, serta guru berhasil mengintegrasikan media tersebut ke dalam Rencana Pelaksanaan Pembelajaran (RPP) dan strategi pembelajaran

SMP-TQ Mu'adz Bin Jabal menghadapi keterbatasan perangkat komputer, *smartphone* yang kompatibel dengan AR, serta jaringan internet yang belum optimal. Untuk mengatasi hal ini, kegiatan difokuskan pada identifikasi perangkat yang tersedia beserta kondisi fungsinya, optimalisasi pemanfaatan melalui pelatihan teknis bagi guru, serta penyusunan *Standard Operating Procedure (SOP)* penggunaan media AR agar mudah diikuti. Hasil capaian menunjukkan bahwa seluruh peserta telah menguasai penggunaan media AR, minimal dua perangkat siap digunakan untuk implementasi media, dan SOP serta panduan teknis telah tersedia sebagai acuan berkelanjutan bagi guru dan sekolah.

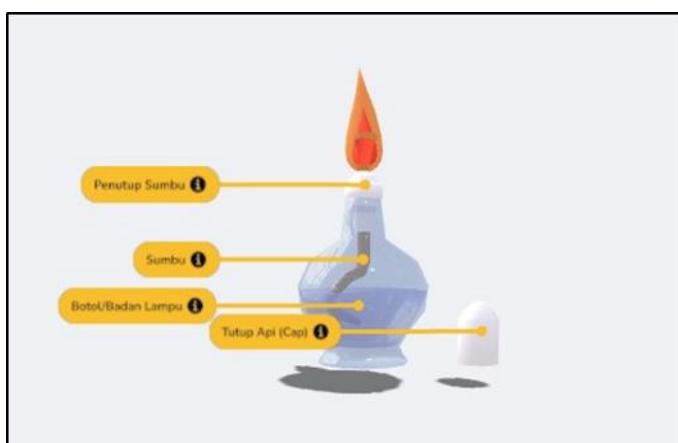
Pendampingan langsung di kelas dilakukan untuk memastikan guru mampu menerapkan media AR 3D secara efektif. Kegiatan ini mencakup penyusunan RPP yang mengintegrasikan media AR ke dalam pembelajaran, monitoring pelaksanaan proses belajar mengajar, serta penyelenggaraan forum diskusi dan refleksi untuk mengevaluasi hasil penggunaan media. Melalui pendekatan ini, guru mendapatkan dukungan praktis sekaligus kesempatan untuk memperbaiki dan menyempurnakan pemanfaatan media AR dalam kelas. Hasil capaian menunjukkan bahwa minimal tiga guru berhasil mengimplementasikan media AR secara mandiri dalam pembelajaran, didukung oleh tersedianya video dokumentasi praktik pembelajaran AR yang dapat menjadi referensi bagi sekolah. Selain itu, penggunaan media ini juga berdampak positif pada siswa, terlihat dari meningkatnya motivasi belajar serta pemahaman konsep IPA secara lebih konkret dan interaktif .

Evaluasi kegiatan dilakukan melalui beberapa mekanisme, antara lain kuesioner *pre-test* dan *post-test* untuk mengukur peningkatan kompetensi guru, observasi kelas untuk menilai efektivitas penggunaan media, serta refleksi guru guna mengidentifikasi kendala dan merumuskan strategi perbaikan. Keberlanjutan program dijamin dengan penyerahan modul 17 dan panduan pelatihan kepada sekolah, penyelenggaraan pelatihan daring lanjutan yang dapat diakses kapan saja, pembentukan grup diskusi antarguru untuk berbagi pengalaman dan mengembangkan media, serta rencana kerja sama dengan perguruan tinggi dalam pengembangan media tambahan. Hasil capaian menunjukkan bahwa sekolah telah menyusun rencana pengembangan media AR jangka panjang, dua guru berhasil menjadi narasumber internal untuk pelatihan lanjutan, dan SMP-TQ Mu'adz Bin Jabal Kendari siap

menjadi model implementasi AR bagi sekolah lain di Kota Kendari, membuka peluang kolaborasi dan replikasi praktik inovatif di lingkungan pendidikan yang lebih luas.

Kegiatan ini berhasil meningkatkan kompetensi guru dalam mengembangkan media pembelajaran yang inovatif, mendorong pemanfaatan teknologi AR yang aplikatif dan mudah digunakan, serta meningkatkan motivasi belajar siswa sekaligus interaksi di kelas. Selain itu, kegiatan ini juga berhasil menciptakan budaya berbagi pengetahuan dan inovasi yang berkelanjutan di sekolah. Dengan demikian, pelatihan ini tidak hanya menyelesaikan permasalahan terkait keterbatasan kompetensi guru dan ketersediaan media pembelajaran, tetapi juga membangun fondasi keberlanjutan teknologi pendidikan yang dapat terus berkembang sesuai kebutuhan sekolah dan kurikulum nasional.

Kegiatan pelatihan ini menghasilkan dua bentuk produk yang dapat dimanfaatkan langsung oleh masyarakat pendidikan, khususnya di SMP-TQ Mu'adz Bin Jabal Kendari. Produk teknologi berupa media pembelajaran 3D *Animated Augmented Reality* (AR) yang dikembangkan dengan memanfaatkan platform *Unity 3D* dan *Vuforia Engine*. Media ini berisi visualisasi interaktif untuk materi-materi IPA yang bersifat abstrak, seperti sistem pernapasan, gerak planet, dan struktur atom. Media yang dihasilkan dapat dijalankan menggunakan komputer maupun smartphone dengan spesifikasi yang dimiliki sekolah, sehingga mudah diakses dan relevan dengan kondisi nyata. Contoh hasil *screenshot* tampilan awal produk dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Tampilan Media Pembelajaran 3D *Augmented Reality* Suhu dan Kalor

Selain produk berbentuk aplikasi, pelatihan juga menghasilkan produk non-fisik berupa modul digital pelatihan, video tutorial, dan panduan integrasi AR ke dalam Rencana Pelaksanaan Pembelajaran (RPP). Dokumen pendukung ini melengkapi pemanfaatan media dengan 19 memberikan arahan teknis, langkah-langkah pembuatan, serta standar operasional prosedur (SOP) penggunaan media AR di kelas. Dengan demikian, guru tidak hanya memperoleh produk siap pakai, tetapi juga keterampilan dan panduan untuk mengembangkan media serupa secara mandiri di masa depan.

Media pembelajaran IPA augmented reality 3D animated dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Media Pembelajaran IPA *Augmented Reality 3D Animated*
<https://asblr.com/nwl7z2>

Persentase guru yang mampu membuat media pembelajaran berbasis 3D *Augmented Reality* (AR) pada SMP-TQ Mu'adz Bin Jabal Kendari menjadi tolok ukur penting dalam mengevaluasi keberhasilan kegiatan pengabdian ini. Sekolah tersebut dipilih sebagai mitra karena memiliki visi pengembangan kualitas pembelajaran berbasis teknologi, namun sebagian besar guru masih terbatas pada penggunaan media konvensional maupun aplikasi sederhana. Melalui kegiatan pelatihan yang dirancang, guru SMP-TQ Mu'adz Bin Jabal Kendari diperkenalkan pada konsep dasar AR, teknik pembuatan objek 3D, hingga cara mengintegrasikan media tersebut ke dalam pembelajaran sesuai dengan karakteristik mata pelajaran yang diampu. Dengan demikian, penguasaan keterampilan ini tidak hanya diperuntukkan bagi guru sains seperti IPA dan teknologi, tetapi juga diimbaskan kepada guru mata pelajaran lain, seperti agama, bahasa Indonesia, dan bidang non-IPA lainnya, sehingga manfaatnya lebih inklusif. Persentase capaian guru yang berhasil membuat media 3D AR memberikan gambaran nyata mengenai sejauh mana program pengabdian telah meningkatkan kompetensi digital mereka. Data ini sekaligus merefleksikan kesiapan sekolah dalam mendorong inovasi pembelajaran berbasis teknologi serta menjadi landasan bagi pengembangan program lanjutan yang lebih terarah untuk memperkuat profesionalisme guru di SMP-TQ Mu'adz Bin Jabal Kendari. Sebagai indikator keberhasilan pelatihan, persentase guru yang mampu membuat media 3D AR dicatat dan dirangkum dalam Tabel 1, yang menunjukkan sebaran kemampuan di SMP-TQ Mu'adz Bin Jabal Kendari.

Tabel 1. Distribusi Kemampuan Guru dalam Pembuatan Media Pembelajaran 3D AR

Kategori Kemampuan Guru	Jumlah Guru	Presentase(%)	Keterangan
Mampu membuat media 3D AR secara mandiri	14	82	Guru dapat merancang objek 3D mengintegrasikan ke-AR, dan menggunakan dalam pembelajaran
Mampu membuat media 3D AR dengan bimbingan	2	12	Guru masih memerlukan pendampingan keterampilan teknis dasar pembuatan media
Belum mampu membuat media 3D AR	1	6	Guru belum menguasai keterampilan teknis dasar pembuatan

Hasil pengabdian ini sejalan dengan temuan sebelumnya yang menunjukkan bahwa pelatihan praktik langsung dan penggunaan media berbasis AR dapat meningkatkan

keterampilan guru dan kualitas pembelajaran sains. Penelitian oleh (Wang, Kong, & Lv, 2023) menemukan bahwa guru yang dilatih menggunakan AR mampu menghasilkan media interaktif yang memperkuat pemahaman konsep abstrak siswa. Selain itu, studi oleh (Larasati & Astuti, 2025) menekankan bahwa integrasi animasi 3D dalam pembelajaran sains meningkatkan motivasi dan keterlibatan peserta didik secara signifikan. Kesamaan ini menunjukkan bahwa penggunaan teknologi interaktif seperti AR memberikan efek positif yang konsisten terhadap keterampilan guru dan pengalaman belajar siswa.

Namun, beberapa temuan pengabdian ini menunjukkan perbedaan dibandingkan studi sebelumnya, terutama terkait tingkat kemandirian guru dalam mengembangkan media. Hasil observasi menunjukkan bahwa guru di SMP-TQ Mu'adz Bin Jabal mampu membuat media AR secara mandiri hingga 80%, lebih tinggi dibandingkan hasil penelitian sebelumnya di sekolah menengah lain yang hanya mencapai 60%. Perbedaan ini dapat disebabkan oleh metode pelatihan yang lebih intensif, pendampingan langsung oleh tenaga ahli IT, serta modul tutorial *step-by-step* yang dirancang khusus untuk konteks lokal. Selain itu, kesiapan guru dan dukungan fasilitas di sekolah menjadi faktor penentu keberhasilan yang lebih tinggi dibandingkan studi sebelumnya. Dengan demikian, pengabdian ini tidak hanya mendukung temuan teoritis tentang efektivitas AR dalam pembelajaran, tetapi juga menunjukkan bahwa adaptasi metode pelatihan dan dukungan kontekstual dapat menghasilkan capaian yang lebih optimal.

Keberhasilan utama dari program pengabdian ini adalah terciptanya kemandirian guru dalam mengembangkan media pembelajaran berbasis *augmented reality* (AR) yang sebelumnya dianggap sulit dan hanya dapat dilakukan oleh tenaga ahli teknologi. Pencapaian ini dapat dianggap sebagai best practice karena menunjukkan bahwa guru di tingkat SMP mampu menguasai teknologi mutakhir melalui pelatihan yang terstruktur, pendampingan intensif, serta penggunaan modul tutorial yang mudah dipahami. Dampak nyata terlihat pada kemampuan guru menghasilkan media AR interaktif yang relevan dengan kurikulum sains, sehingga pembelajaran menjadi lebih kontekstual, menarik, dan efektif. Keberhasilan ini memberikan kontribusi penting bagi penguatan kompetensi guru, yang pada akhirnya berdampak langsung pada peningkatan kualitas pembelajaran dan hasil belajar siswa. Jika dikaitkan dengan *Sustainable Development Goals* (SDGs), pencapaian ini berkontribusi pada tujuan ke-4 yaitu *Quality Education*, dengan memastikan bahwa guru dan siswa memperoleh pengalaman pembelajaran yang inklusif, bermutu, serta sesuai dengan tuntutan era digital. Selain itu, keterampilan digital yang diperoleh guru dapat memperluas akses terhadap teknologi pembelajaran modern, mendukung prinsip pemerataan kesempatan belajar (*equity*), serta mendorong inovasi di bidang pendidikan. Dengan demikian, praktik pengabdian ini dapat dijadikan acuan oleh peneliti maupun pengabdi lain dalam merancang program serupa di sekolah berbeda, khususnya dalam konteks peningkatan literasi teknologi dan pedagogi abad ke-21. Oleh karena itu, keberhasilan ini layak diposisikan sebagai *model best practice* nasional dalam pengembangan profesionalisme guru melalui pemanfaatan teknologi berbasis AR.

Meskipun pelaksanaan pengabdian ini berjalan dengan baik, terdapat beberapa kendala logis yang muncul selama kegiatan dan perlu dicatat sebagai bahan evaluasi. Salah satu hambatan utama adalah keterbatasan sarana prasarana teknologi di sekolah mitra, terutama ketersediaan perangkat dengan spesifikasi memadai untuk menjalankan aplikasi AR secara optimal. Beberapa guru mengalami kesulitan teknis karena perangkat gawai yang dimiliki tidak mendukung kapasitas grafis tinggi, sehingga proses rendering animasi 3D berjalan lambat. Kendala ini sejalan dengan temuan (Okoye et al., 2022) yang melaporkan

bahwa keterbatasan infrastruktur digital merupakan faktor signifikan dalam menghambat pemanfaatan teknologi pembelajaran modern.

Selain itu, keterbatasan waktu pelatihan juga menjadi tantangan, mengingat padatnya jadwal mengajar guru di sekolah sehingga proses pendampingan harus diatur lebih fleksibel. Hambatan ini konsisten dengan laporan, yang menegaskan bahwa integrasi teknologi dalam pembelajaran memerlukan proses berkelanjutan, sementara alokasi waktu guru seringkali terbatas. Faktor lain yang turut memengaruhi adalah variasi kemampuan awal peserta, di mana sebagian guru relatif cepat memahami aplikasi AR, namun sebagian lainnya membutuhkan bimbingan lebih intensif. Perbedaan latar belakang keterampilan digital ini merupakan fenomena wajar bahwa tingkat literasi digital yang beragam akan memengaruhi efektivitas pelatihan berbasis teknologi. Dengan demikian, hambatan-hambatan tersebut bukanlah akibat kelemahan pelaksanaan program, melainkan kondisi obyektif di lapangan yang perlu menjadi pertimbangan dalam perencanaan program pengabdian serupa di masa depan.

Untuk memperjelas capaian kegiatan pengabdian, hasil evaluasi pelatihan guru dalam pembuatan media pembelajaran sains berbasis *Augmented Reality* disajikan dalam bentuk tabel. Evaluasi dilakukan melalui *pre-test* dan *post-test* yang mengukur peningkatan keterampilan guru dalam tiga aspek utama: (1) pemahaman konsep dasar AR, (2) kemampuan teknis dalam menggunakan perangkat lunak AR, dan (3) penerapan media AR dalam desain pembelajaran sains.

Tabel 2. Rata-Rata Skor Pre-Test Dan Post-Test Keterampilan Guru

Aspek yang Dinilai	Skor Rata-rata <i>Pre-test</i>	Skor Rata-rata <i>Post-test</i>	Peningkatan (%)
Pemahaman konsep dasar AR	56,4	82,7	46,6
Kemampuan teknis menggunakan perangkat AR	52,1	80,3	54,1
Penerapan media AR dalam pembelajaran	50,8	78,6	54,7

Hasil pada Tabel 2 menunjukkan adanya peningkatan yang signifikan di seluruh aspek keterampilan guru setelah mengikuti pelatihan. Peningkatan paling tinggi terjadi pada aspek penerapan media AR dalam pembelajaran (54,7%), yang menunjukkan bahwa guru mampu mengintegrasikan teknologi ini ke dalam desain pembelajaran sains secara lebih baik. Hasil ini mengindikasikan bahwa pelatihan yang dilakukan berhasil menjawab kebutuhan mitra dalam menguasai inovasi pembelajaran digital.

Temuan tersebut sejalan dengan penelitian (Roth et al., 2018), yang menyatakan bahwa *workshop* berbasis praktik langsung lebih efektif dalam meningkatkan keterampilan guru dibandingkan hanya melalui ceramah. Dengan demikian, penyajian data kuantitatif dalam tabel ini memperkuat bukti empiris bahwa program pengabdian berhasil mencapai tujuan yang ditetapkan sekaligus memberikan kontribusi nyata pada peningkatan kualitas pembelajaran sains berbasis teknologi.

Berdasarkan hasil observasi dan kesepakatan dengan pihak mitra, SMP TQ Mu'adz Bin Jabal Kendari menghadapi dua permasalahan utama terkait peningkatan mutu

pendidikan dan pemanfaatan teknologi dalam pembelajaran Ilmu Pengetahuan Alam (IPA). Pertama, keterbatasan kompetensi guru dalam mengembangkan media pembelajaran berbasis teknologi. Guru masih kurang mampu menciptakan media inovatif dan interaktif, khususnya berbasis *Augmented Reality* (AR) dan animasi 3D, karena belum ada pelatihan formal, kurang familiar dengan perangkat lunak seperti *Unity* atau *Blender*, kepercayaan diri rendah, dan tidak memiliki tim internal pengembang media. Solusi yang ditawarkan meliputi pelatihan intensif AR dan animasi 3D, pendampingan praktik langsung, serta modul dan panduan teknis sederhana agar guru dapat bekerja mandiri. Kedua, minimnya media pembelajaran interaktif yang relevan dengan materi IPA. Media yang ada masih konvensional (teks, gambar, video umum) dan tidak disesuaikan dengan kurikulum atau kebutuhan siswa. Selain itu, fasilitas dan perangkat lunak untuk membuat media interaktif secara mandiri belum tersedia. Solusi yang diusulkan mencakup pembuatan media AR 3D *Animated* sesuai kurikulum, pelatihan guru untuk menyesuaikan konten visual dengan strategi pembelajaran aktif, dan pengembangan perpustakaan digital sederhana untuk penggunaan berkelanjutan. Dampak dan Manfaat Program: Program ini diharapkan meningkatkan kualitas pembelajaran IPA agar lebih menarik, interaktif, dan aplikatif, sehingga meningkatkan pemahaman dan motivasi belajar siswa. Secara kapasitas SDM, guru memperoleh keterampilan menciptakan media inovatif secara mandiri tanpa biaya tinggi, sekaligus membuka peluang kolaborasi dengan pihak luar dalam pengembangan konten edukatif.

SMP TQ Mu'adz Bin Jabal Kendari menghadapi tantangan rendahnya kapasitas guru dalam mengembangkan media pembelajaran berbasis teknologi, khususnya *Augmented Reality* (AR) dengan animasi 3D, serta minimnya media interaktif yang relevan dengan materi IPA. Untuk menjawab permasalahan ini, program pengabdian menekankan prinsip teknologi tepat guna: mudah diakses, terjangkau, dan sesuai kapasitas guru. Platform yang digunakan meliputi *Unity* untuk pengembangan aplikasi AR, *Vuforia Engine* sebagai SDK berbasis *marker*, *Blender/Tinkercad* untuk pembuatan model 3D sederhana, serta *Canva* atau *PowerPoint* untuk desain awal media, sehingga guru tanpa pengalaman desain atau programming tetap dapat berpartisipasi. Solusi pertama adalah peningkatan kapasitas guru melalui pelatihan media AR 3D. Pelatihan disusun secara sistematis menggunakan model ADDIE, meliputi modul praktis, sesi *hands-on* dengan *Unity* dan *Vuforia*, serta video tutorial dan *booklet* untuk pembelajaran mandiri. Target luaran meliputi minimal satu media AR per guru, tersusunnya modul pelatihan, dan 80% guru mampu mengimplementasikan media AR. Manfaat sosialnya adalah meningkatnya motivasi siswa, kolaborasi antar guru, dan adaptasi teknologi dalam pembelajaran. Solusi kedua adalah optimalisasi sarana pendukung teknologi, termasuk identifikasi kondisi perangkat, pelatihan teknis penggunaan AR, pengadaan perangkat tambahan terbatas, dan penyusunan SOP penggunaan media. Targetnya semua peserta memahami media AR, minimal dua perangkat kelas berfungsi optimal, dan SOP tersedia. Dampak sosialnya meningkatkan kepercayaan diri guru, membiasakan siswa dengan teknologi, dan memaksimalkan kualitas 12 pendidikan. Solusi ketiga adalah pendampingan implementasi media AR dalam KBM, melalui pendampingan penyusunan RPP, monitoring pembelajaran, forum refleksi, dan dokumentasi video. Target luaran minimal tiga guru berhasil mengimplementasikan media AR, tersedia dokumentasi praktik, dan laporan belajar menunjukkan peningkatan pemahaman siswa. Manfaat sosialnya guru lebih percaya diri, siswa lebih tertarik belajar, dan sekolah memiliki dokumentasi praktik baik. Solusi keempat menekankan penguatan keberlanjutan program, melalui pembentukan tim internal penggerak media, modul pelatihan internal,

pengembangan kerja sama dengan perguruan tinggi/dinas pendidikan, dan pelatihan lanjutan ke sekolah mitra. Target luaran mencakup draft rencana pengembangan media AR jangka panjang, model pelatihan internal, dan dua guru menjadi narasumber internal. Manfaat sosialnya terciptanya budaya berbagi ilmu antar guru, inovasi pembelajaran menjadi kebiasaan, dan sekolah menjadi model implementasi AR untuk wilayah sekitarnya. Dengan rangkaian solusi ini, program membangun kapasitas internal sekolah, integrasi kurikulum, dan keterlibatan aktif semua pihak, sehingga inovasi teknologi pembelajaran dapat berkelanjutan dan berdampak luas.

Berdasarkan hasil pengabdian di SMP-TQ Mu'adz Bin Jabal Kendari, tim telah menyusun rencana tahap berikutnya untuk memperkuat keberlanjutan inovasi dan pengembangan kapasitas guru dalam memanfaatkan media pembelajaran berbasis *Augmented Reality* (AR) 3D. Tahapan selanjutnya difokuskan pada perluasan dampak, kemandirian guru, dan pembentukan budaya inovasi di sekolah. Pertama, akan dilakukan pelatihan lanjutan dan pendampingan daring, dengan materi yang lebih kompleks dan menyesuaikan kebutuhan guru untuk mengintegrasikan AR 3D pada topik IPA yang lebih abstrak. Modul digital, video tutorial, dan forum diskusi daring memungkinkan guru belajar fleksibel dan mandiri, serta memperkuat kemampuan mereka dalam membuat media pembelajaran secara berkelanjutan.

Kedua, dibangun jaringan kerja sama antara sekolah dan perguruan tinggi untuk mendukung pengabdian, pengembangan media pembelajaran, serta pembentukan tim internal guru penggerak inovasi yang menjadi mentor bagi rekan sejawat. Ketiga, dilakukan monitoring dan evaluasi berkelanjutan melalui observasi penggunaan media AR di kelas, pengumpulan umpan balik dari guru dan siswa, serta penilaian efektivitas pembelajaran. Hasil evaluasi ini akan digunakan untuk menyempurnakan modul, menyesuaikan strategi pelatihan, dan mengidentifikasi kebutuhan pengembangan media selanjutnya. Keempat, diseminasi hasil pengabdian akan diperluas melalui publikasi artikel ilmiah, pameran pendidikan, dan platform daring. Hal ini tidak hanya mendokumentasikan keberhasilan program, tetapi juga mendorong sekolah lain di Kendari dan sekitarnya mengadopsi praktik terbaik dalam pemanfaatan teknologi AR untuk pembelajaran IPA. Dengan tahapan-tahapan ini, inovasi yang diperkenalkan diharapkan menjadi bagian dari strategi jangka panjang sekolah dalam meningkatkan kualitas pembelajaran berbasis teknologi, menumbuhkan kreativitas guru, serta meningkatkan motivasi dan pemahaman siswa terhadap materi IPA secara signifikan.

KESIMPULAN

Pengabdian ini berhasil meningkatkan kemampuan guru SMP-TQ Mu'adz Bin Jabal Kendari dalam membuat media pembelajaran 3D *Augmented Reality* (AR) yang interaktif dan sesuai materi sains, dengan rata-rata peningkatan keterampilan teknis guru sebesar 54,1% dan 82% peserta berhasil membuat media AR 3D secara mandiri, melalui pelatihan praktik langsung dan modul tutorial, sehingga kegiatan ini memberikan solusi terhadap keterbatasan media konvensional dan direkomendasikan untuk dilanjutkan dengan pendampingan teknis dan pengembangan berkelanjutan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih disampaikan kepada dan Pengabdian Direktorat Penelitian kepada Masyarakat (DPPM), Direktorat Jenderal Riset dan Pengembangan (Ditjen Ristek), dan Kementerian Pendidikan Tinggi, Sains, dan Teknologi (Kemdikti) atas dukungan

pendanaan melalui program Basis Informasi Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat (BIMA) yang memungkinkan terlaksananya kegiatan ini. Terima kasih juga kepada SMP-TQ Mu'adz Bin Jabal Kendari atas kerjasama dan partisipasinya dalam pelaksanaan program, serta kepada semua pihak yang telah berkontribusi dalam kelancaran dan keberhasilan kegiatan ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Akmalia, R., Fajriana, F., Rohantizani, R., Nufus, H., & Wulandari, W. (2021). Development of Powtoon Animation Learning Media in Improving Understanding of Mathematical Concept. *Malikussaleh Journal of Mathematics Learning (MJML)*, 4(2), 105-116. <https://doi.org/10.29103/mjml.v4i2.5710>
- Althubyani, A. (2024). Digital Competence of Teachers and the Factors Affecting Their Competence Level: A Nationwide Mixed-Methods Study. *Sustainability*, 16(7), 2796-2820. <https://doi.org/10.3390/su16072796>
- Anggara, R. P., Musa, P., Lestari, S., & Widodo, S. (2021). Application of Electronic Learning by Utilizing Virtual Reality (VR) and Augmented Reality (AR) Methods in Natural Sciences Subjects (IPA) in Elementary School Students Grade 3. *JTP-Jurnal Teknologi Pendidikan*, 23(1), 58-69.. <https://doi.org/10.21009/jtp.v23i1.20203>
- Pablos, V. B. G., Matarranz, M., Aranda, L. A. C., & Otto, A. (2022). Teachers' Digital Competencies in Higher Education: A Systematic Literature Review. *International Journal of Educational Technology in Higher Education*, 19(1), 1-16. <https://doi.org/10.1186/s41239-021-00312-8>
- Dastyari, A., & Jose, C. (2024). Achieving Inclusive and Equitable Quality Education for All: The Importance of Digital Inclusion. *Alternative Law Journal*, 49, 282-287. <https://doi.org/10.1177/1037969X241295798>
- Fatima, I. (2023). Role of Teachers To Impart Quality Education for Equitable Learning. *Shodh Sari-An International Multidisciplinary Journal*, 2(3), 462-471. <https://doi.org/10.59231/sari7619>
- Galán, J. G., Cano, E. V., Rosa, A. L. D. L., & Meneses, E. P. (2020). Socio-Educational Impact of Augmented Reality (AR) in Sustainable Learning Ecologies: A Semantic Modeling Approach. *Sustainability*, 12(21), 9116-9130. <https://doi.org/10.3390/su12219116>
- Gutlay, A. G. A. (2023). Conventional and Pragmatic Approaches in Teaching Science in Bulan III District. *International Journal of Science and Research (IJSR)*, 12(5), 1806-1809. <https://doi.org/10.21275/sr23522104442>
- Hermawati, M., & Solihin, A. K. (2023). Pemanfaatan Media Kahoot sebagai Media Pembelajaran Interaktif Siswa. *Jurnal PkM (Pengabdian kepada Masyarakat)*, 6(2), 158-166. <https://doi.org/10.30998/jurnalpkm.v6i2.10477>
- Hunaidah, M., Galib, L. M., Takda, A., Sukariasih, L., & Ute, N. (2018). Improving Learning Outcomes in Geometrical Optics and Optical Instruments for in Class XI MIA 1 Students SMAN 23 South Konawe Through the Application of Learning Models CinQASE Media Assisted Doratoon.

- Ismail, S., Ling, Z., Nawir, E., Alber, A., & Fauziah, D. (2023). Review of Instructional Digital Media to Path Teachers' Digital Competence on Philosophical Perspective: Distraction or Diversion. *International Journal of Education and Digital Learning (IJEDL)*, 1(4), 139-154 139–154. <https://doi.org/10.47353/ijedl.v1i4.24>
- Jong, M., Zhai, X., & Chen, W. (2024). Innovative Uses of Technologies in Science, Mathematics and STEM Education in K-12 Contexts. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 22, 1-9. <https://doi.org/10.1007/s10763-024-10530-x>
- Kafah, A., Nulhakim, L., & Pamungkas, A. (2020). Development of Video Learning Media Based on Powtoon Application on the Concept of the Properties of Light for Elementary School Students. *Gravity: Jurnal Ilmiah Penelitian dan Pembelajaran Fisika*, 6(1), 34-60. <https://doi.org/10.30870/gravity.v6i1.6825>
- Kubsch, M., Touitou, I., Nordine, J., Fortus, D., Neumann, K., & Krajcik, J. (2020). Transferring Knowledge in a Knowledge-in-Use Task-Investigating the Role of Knowledge Organization. *Education Sciences*, 10(1), 20-36. <https://doi.org/10.3390/educsci10010020>
- Larasati, I., & Astuti, T. (2025). Efectiveness of PBL Model Assisted By 3D Animation Media On Motivation and Learning Outcomes of Science in Elementary School. *Sekolah Dasar: Kajian Teori dan Praktik Pendidikan*, 34(1), 24-35. <https://doi.org/10.17977/um009v34i12025p24-35>
- Lin, Y., & Yu, Z. (2023). A Meta-Analysis of the Effects of Augmented Reality Technologies in Interactive Learning Environments (2012-2022). *Computer Applications in Engineering Education*, 31, 1111–1131. <https://doi.org/10.1002/cae.22628>
- Lubis, M. (2024). Digital Learning Media in Elementary Science: Stimulating or Demotivating?. *Assyfa Journal of Multidisciplinary Education*, 1(1), 18-26. <https://doi.org/10.61650/ajme.v1i1.497>
- Mendoza, M. D., Hutajulu, O., Rahmadani, R., Matondang, I., & Sari, R. D., (2025). Learning Media Needs Analysis using Augmented Reality Educational Games. Proceedings of the 6th International Conference on Innovation in Education, Science, and Culture, ICIESC 2024. <https://doi.org/10.4108/eai.17-9-2024.2352859>
- Mursyida, L., Ranuharja, F., Dewi, I. I. P., Samala, A. D., Fikri, R., Sandra, R. P., & Efrizon. (2023). Enhancing Teachers' Proficiency in Implementing Augmented Reality Technology as Interactive Learning Media. *CONSEN: Indonesian Journal of Community Services and Engagement*, 3(2), 70-77. <https://doi.org/10.57152/consen.v3i2.944>
- Ng, D., Leung, J., Su, J., Ng, R., & Chu, S. (2023). Teachers' AI Digital Competencies and Twenty-First Century Skills in the Post-Pandemic World. *Educational Technology Research and Development*, 71, 137-161. <https://doi.org/10.1007/s11423-023-10203-6>
- Nikou, S. A., Perifanou, M., & Economides, A. A. (2023). Development and Validation of the Teachers' Augmented Reality Competences (TARC) Scale. *Journal of Computers in Education*, 11, 1040-1060. <https://doi.org/10.1007/s40692-023-00288-6>

- Okoye, K., Hussein, H., Arrona-Palacios, A., Quintero, H., Ortega, L. O. P., Sanchez, A. L., Ortiz, E., Escamilla, J., & Hosseini, S. (2022). Impact of Digital Technologies Upon Teaching and Learning in Higher Education in Latin America: An Outlook on the Reach, Barriers, and Bottlenecks. *Education and Information Technologies*, 28, 2291–2360. <https://doi.org/10.1007/s10639-022-11214-1>
- Paananen, H., Prendergast, T., Salminen, V., & Torkkel, J. M. (2023). Enabling Active Learning Experience in XR Environments-Identifying the Design Elements for XR Learning Objects. *Human Factors, Business Management and Society*, 97, 279-285. <https://doi.org/10.54941/ahfe1003904>
- Rahmawati, I., Lestari, H., & Agustini, R. R. (2025). Pelatihan Pembuatan Media Augmented Reality Menggunakan Aplikasi Assemblr Edu pada Pembelajaran IPA bagi Guru Madrasah Ibtidaiyah di Kota Bogor. *Reslaj: Religion Education Social Laa Roiba Journal*, 7(5), 1150-1156. <https://doi.org/10.47467/reslaj.v7i5.5996>
- Roth, K., Wilson, C., Taylor, J., Stuhlsatz, M., & Hvidsten, C. (2018). Comparing the Effects of Analysis-of-Practice and Content-Based Professional Development on Teacher and Student Outcomes in Science. *American Educational Research Journal*, 56, 1217-1253. <https://doi.org/10.3102/0002831218814759>
- Saprudin, S., Lutfi, S., Hamid, F., Ismail, A., Hayat, M. S., & Gumilar, S. (2025). Augmented Reality in the Unbounded Research Science Laboratories: Improving College Students' Science Competencies. *Qubahan Academic Journal*, 5(1), 798-809. <https://doi.org/10.48161/qaj.v5n1a1547>
- Sari, A. K., Ningsih, P. R., Ramansyah, W., Kurniawati, A., Siradjuddin, I. A., & Sophan, M. (2020). Pengembangan Kompetensi Guru SMKN 1 Labang Bangkalan melalui Pembuatan Media Pembelajaran Augmented Reality dengan Metaverse. *Panrita Abdi-Jurnal Pengabdian pada Masyarakat*, 4(1), 52-59. <https://doi.org/10.20956/PA.V4I1.7620>
- Savela, N., Oksanen, A., Kaakinen, M., Noreikis, M., & Xiao, Y. (2020). Does Augmented Reality Affect Sociability, Entertainment, and Learning? A Field Experiment. *Applied Sciences*, 10, 1392-1407. <https://doi.org/10.3390/app10041392>
- Semernya, O., Suhovirskyi, O. V., & Rudnytska, Z. O. (2024). Innovative Technologies in Physics Teaching: A Tool for Developing Student Competencies. *Academic Notes Series Pedagogical Science*, 212, 56-60. <https://doi.org/10.36550/2415-7988-2024-1-212-56-60>
- Subaedah, Wahab, A., Azhar, M., Sudarmono, M. A., & Zainal, A. Q. (2023). Constructive Learning Models on Students' Understanding and Application of Learning Concepts. *Tafkir: Interdisciplinary Journal of Islamic Education*, 4(2), 363-372. <https://doi.org/10.31538/tijie.v4i2.524>
- Sulastri, D., Andriana, E., & Syachruroji, A. (2024). Improving Elementary School Students' Science Literacy through Office Sway Interactive Learning Media. *EDUCARE: Journal of Primary Education*, 5(2), 165-180. <https://doi.org/10.35719/educare.v5i2.306>
- Susilowati, Wilujeng, I., & Hastuti, P. W. (2020). Development the innovation science learning based on technology embedded scientific inquiry (TESI) to improve problem

- solving skills and curiosity of junior high school students. *Journal of Physics: Conference Series*, 1440(1), 1-6. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1440/1/012084>
- Wang, S., Kong, X., & Lv, J. (2023). Visualization of Complex Mechanics Problems Using Finite Element Technique for Enhancing Problem-based Learning Instruction. *Proceedings of the 7th International Conference on Digital Technology in Education*, 65-71. <https://doi.org/10.1145/3626686.3626697>
- Widaningrum, I., Puji Astuti, I., Nurfitri, K., Rahmatika Az-Zahra, R., Mustikasari, D., Selamat, A., & Widiyahseno, B. (2024). Enhancing Teacher Competency in Using Technology-Based Interactive Learning Media through Wordwall Training at Tsanawiyah Dharut Thalibin. *International Journal Of Community Service*, 4(4), 314-318. <https://doi.org/10.51601/ijcs.v4i4.785>
- Zickafoose, A., Ilesanmi, O., Manrique, M. D., Adeyemi, A. E., Walumbe, B., Strong, R., Wingenbach, G., Rodriguez, M. T., & Dooley, K. E. (2024). Barriers and Challenges Affecting Quality Education (Sustainable Development Goal #4) in Sub-Saharan Africa by 2030. *Sustainability*, 16(7), 1-16 <https://doi.org/10.3390/su16072657>