



**PENGEMBANGAN *SMART SOUND ANALYZER* SEBAGAI MEDIA
PEMBELAJARAN FISIKA UNTUK MENINGKATKAN KETERAMPILAN
BERPIKIR KRITIS PESERTA DIDIK**

Rizki Muhamad Sidik¹, Sri Latifah², Vandan Wiliyanti^{3*}

¹²³ Universitas Islam Negeri Raden Intan Lampung

e-mail: vandanwiliyanti@radenintan.ac.id

Diterima: 21/6/2026; Direvisi: 10/7/2026; Diterbitkan: 18/7/2026

ABSTRAK

Keterampilan berpikir kritis peserta didik dalam pembelajaran fisika belum berkembang secara optimal, khususnya pada materi gelombang bunyi yang memerlukan kegiatan eksperimen dan analisis data. Penelitian ini bertujuan mengembangkan alat peraga *Smart Sound Analyzer* sebagai media pembelajaran fisika untuk meningkatkan keterampilan berpikir kritis peserta didik. Penelitian menggunakan metode *Research and Development* (R&D) dengan model ADDIE yang meliputi tahap *analysis, design, development, implementation, dan evaluation*. Produk yang dikembangkan mengintegrasikan sensor suara, mikrokontroler, pemantauan data *real-time*, dan LKPD berbasis aktivitas berpikir kritis. Hasil penelitian menunjukkan bahwa media memperoleh skor validasi ahli materi sebesar 99,41%, ahli media sebesar 87,50%, dan instrumen sebesar 94,37%, seluruhnya dalam kategori sangat layak. Respons peserta didik dan pendidik masing-masing mencapai 94% dan 95,33% dengan kategori sangat baik. Skor rata-rata keterampilan berpikir kritis meningkat dari 50,05 menjadi 79,48 dengan nilai N-gain sebesar 0,61 pada kategori sedang. Dengan demikian, *Smart Sound Analyzer* layak digunakan sebagai media pembelajaran fisika berbasis eksperimen dan berpotensi mendukung peningkatan keterampilan berpikir kritis melalui analisis data bunyi secara langsung. Kebaruan penelitian ini terletak pada integrasi *Internet of Things* (IoT) dan LKPD berpikir kritis untuk memfasilitasi analisis frekuensi serta amplitudo bunyi secara *real-time*.

Kata Kunci: *Internet Of Things, Smart Sound Analyzer, Berpikir Kritis*

ABSTRACT

Students' critical thinking skills in physics have not yet developed optimally, particularly when it comes to the topic of sound waves, which requires experimental activities and data analysis. This study aims to develop the *Smart Sound Analyzer* as a physics teaching aid to enhance students' critical thinking skills. The study employed a *Research and Development* (R&D) approach using the ADDIE model, which comprises the stages of *analysis, design, development, implementation, and evaluation*. The developed product integrates sound sensors, a microcontroller, real-time data monitoring, and worksheets based on critical thinking activities. The results of the study show that the media received a content expert validation score of 99.41%, a media expert score of 87.50%, and an instrument score of 94.37%, all of which fall into the "highly acceptable" category. The response rates for students and educators were 94% and 95.33%, respectively, both falling into the "very good" category. The average critical thinking skills score increased from 50.05 to 79.48 with an N-gain value of 0.61 in the moderate category. Thus, the *Smart Sound Analyzer* is suitable for use as an experiment-based physics learning medium and has the potential to support the improvement of critical thinking skills through direct analysis of sound data. The novelty of this study lies in the integration of

the Internet of Things (IoT) and critical thinking worksheets to facilitate real-time analysis of sound frequency and amplitude.

Keywords: *Internet Of Things, Smart Sound Analyzer, Critical Thinking*

PENDAHULUAN

Perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi pada abad ke-21 telah mendorong perubahan penting dalam praktik pembelajaran (R. Ariani, 2019; Febriani et al., 2022; Khoiriyah et al., 2025), termasuk pembelajaran fisika di sekolah (Zhan et al., 2024). Pembelajaran fisika tidak lagi cukup berorientasi pada penyampaian konsep dan penyelesaian soal secara prosedural, tetapi perlu diarahkan pada pengalaman belajar yang interaktif, kontekstual, dan berbasis penyelidikan ilmiah (Jailani, 2026; Siahaan et al., 2020; Sujiyanti Kassiavera, A. Suparmi, 2024; Zöllner et al., 2025). Peserta didik perlu dilibatkan dalam aktivitas mengamati fenomena, mengumpulkan data, menganalisis informasi, serta menarik kesimpulan berdasarkan bukti (Setiawan et al., 2022; Sujiyanti Kassiavera, A. Suparmi, 2024; Wiliyanti et al., 2023). Oleh karena itu, pendidik dituntut mampu memanfaatkan media dan teknologi pembelajaran yang inovatif agar konsep fisika yang bersifat abstrak dapat dipahami secara lebih konkret dan bermakna (S. Latifah et al., 2020, 2024; Pauziah et al., 2023).

Salah satu materi fisika yang memerlukan dukungan media pembelajaran dan kegiatan eksperimen adalah gelombang Bunyi (Bungkuran et al., 2021; Viga et al., 2021; Yani et al., 2023). Materi ini mencakup konsep frekuensi, amplitudo, cepat rambat, intensitas, dan karakteristik bunyi yang tidak selalu mudah diamati secara langsung oleh peserta didik (Medica et al., 2021; Radu et al., 2023). Apabila pembelajaran hanya dilakukan melalui penjelasan verbal dan latihan matematis, peserta didik cenderung memahami konsep secara terbatas tanpa memperoleh pengalaman dalam menghubungkan teori dengan data hasil pengamatan (Masyruhan et al., 2020a). Kondisi ini dapat menyebabkan pembelajaran menjadi kurang kontekstual, terutama ketika sarana praktikum terbatas dan media pembelajaran belum mampu menampilkan gejala bunyi secara terukur (Cahyadi, 2019; Diani et al., 2023; N. Latifah et al., 2024).

Media pembelajaran memiliki peran penting dalam menjembatani konsep fisika yang abstrak dengan pengalaman belajar peserta didik (Prayitno et al., 2024; Sidik et al., 2024; Ula et al., 2025). Dalam pembelajaran fisika, media tidak hanya berfungsi sebagai alat bantu penyampaian materi, tetapi juga sebagai sarana untuk memfasilitasi observasi, eksperimen, pengumpulan data, dan pembuktian konsep secara ilmiah (Puri & Perdana, 2023; Sidik et al., 2025). Salah satu bentuk media yang relevan adalah alat peraga, karena dapat membantu peserta didik memvisualisasikan fenomena fisika dan memperoleh pengalaman belajar secara langsung (Mairizwan et al., 2022; Pangke et al., 2021; Prihatiningtyas & Putra, 2018). Namun, pembelajaran fisika di sekolah masih sering menghadapi kendala berupa keterbatasan media praktikum serta dominannya pembelajaran yang berpusat pada pendidik (Lima et al., 2023; Ndiokubwayo et al., 2020). Akibatnya, kesempatan peserta didik untuk melakukan eksplorasi, interpretasi data, dan penyusunan kesimpulan ilmiah menjadi belum optimal (Adnan & Annisa, 2025a; Prihatiningtyas & Putra, 2018a).

Keterbatasan pengalaman eksperimen berkaitan erat dengan pengembangan keterampilan berpikir kritis (Chen et al., 2026). Keterampilan berpikir kritis merupakan kemampuan peserta didik dalam mengidentifikasi masalah, menafsirkan informasi, menganalisis hubungan antarvariabel, mengevaluasi bukti, serta menarik kesimpulan secara logis (Fitriyah & Ghofur, 2022; Suarti & Andi Rezki Awalia Ramadhani, 2022; Syafitri et al., 2021). Dalam pembelajaran fisika, keterampilan ini dapat dikembangkan melalui kegiatan

penyelidikan, eksperimen, analisis data, diskusi ilmiah, dan pemecahan masalah berbasis fenomena (Ardiansyah et al., 2023; Syafitri et al., 2021). Keterampilan berpikir kritis menjadi penting karena peserta didik tidak hanya dituntut memahami konsep, tetapi juga mampu menggunakan konsep tersebut untuk menjelaskan fenomena dan mengambil keputusan berdasarkan bukti ilmiah (Deswitasari & Rokhmat, 2024; Thornhill-Miller et al., 2023).

Sejumlah penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa penggunaan alat peraga dan media praktikum dalam pembelajaran fisika mampu meningkatkan pemahaman konsep, motivasi belajar, keterlibatan peserta didik, dan aktivitas praktikum (Masyruhan et al., 2020a; Prayitno et al., 2024; Pujiyanti et al., 2021). Pengembangan alat peraga sederhana maupun alat praktikum digital juga terbukti dapat membantu peserta didik memvisualisasikan konsep fisika secara lebih konkret dan kontekstual (Furnaisuri, 2025; Lestari, 2024; Zhao et al., 2024). Selain itu, penerapan model pembelajaran berbasis fenomena, *inkuiri*, *Project-Based Learning*, dan integrasi teknologi digital menunjukkan kontribusi positif terhadap kemampuan analisis, penalaran ilmiah, dan pemecahan masalah peserta didik (Jailani, 2026; Setiawan et al., 2022; Siahaan et al., 2020; Yusra et al., 2025).

Meskipun demikian, hasil telaah terhadap penelitian terdahulu menunjukkan bahwa pengembangan media dan alat peraga pembelajaran fisika masih banyak berfokus pada peningkatan pemahaman konsep, hasil belajar, motivasi, dan aktivitas peserta didik (Masyruhan et al., 2020a; Prihatiningtyas & Putra, 2018; Pujiyanti et al., 2021). Pengembangan alat peraga yang secara khusus dirancang untuk melatih keterampilan berpikir kritis melalui analisis data eksperimen secara real-time, khususnya pada materi gelombang bunyi, masih relatif terbatas. Padahal, materi gelombang bunyi memiliki karakteristik yang sangat sesuai untuk dikembangkan melalui kegiatan pengukuran dan analisis data, karena peserta didik dapat mengamati perubahan frekuensi dan amplitudo sebagai dasar untuk membangun penjelasan ilmiah. Oleh karena itu, diperlukan media pembelajaran yang tidak hanya menarik secara visual, tetapi juga mampu menghadirkan data empiris yang dapat dianalisis oleh peserta didik.

Perkembangan teknologi *Internet of Things* (IoT) memberikan peluang untuk mengembangkan media pembelajaran fisika yang lebih interaktif dan berbasis data (Muarif Islamiah et al., 2022). Teknologi IoT memungkinkan perangkat pembelajaran mengumpulkan, mengolah, dan menampilkan data hasil pengukuran secara real-time (Chelsy Wardani Putri, 2020; Daniela, 2021; Sidik et al., 2025). Dalam pembelajaran fisika, pemanfaatan IoT dapat mendukung kegiatan eksperimen karena peserta didik dapat memperoleh data secara langsung, mengamati perubahan variabel, dan menggunakan data tersebut sebagai dasar analisis (Pauziah et al., 2023; Ramadiani et al., 2022). Dengan demikian, media berbasis IoT berpotensi memperkuat pembelajaran yang berpusat pada peserta didik dan mendorong terbentuknya keterampilan berpikir kritis melalui aktivitas ilmiah.

Berdasarkan kebutuhan tersebut, penelitian ini mengembangkan alat peraga *Smart Sound Analyzer* sebagai media pembelajaran fisika pada materi gelombang bunyi. Media ini dirancang untuk menampilkan data frekuensi dan amplitudo bunyi secara real-time sehingga peserta didik dapat melakukan pengamatan, interpretasi data, analisis hubungan antarvariabel, evaluasi hasil pengukuran, dan penarikan kesimpulan berdasarkan bukti empiris. *Smart Sound Analyzer* juga dipadukan dengan Lembar Kerja Peserta Didik (LKPD) yang memuat aktivitas berpikir kritis agar proses pembelajaran tidak hanya berorientasi pada penggunaan alat, tetapi juga pada pengembangan kemampuan analisis dan penalaran ilmiah peserta didik.

Kebaruan penelitian ini terletak pada integrasi alat peraga berbasis IoT dengan LKPD berpikir kritis untuk memfasilitasi analisis data frekuensi dan amplitudo bunyi secara real-time dalam pembelajaran fisika. Berbeda dari alat peraga yang hanya digunakan sebagai media

demonstrasi, *Smart Sound Analyzer* dikembangkan sebagai media eksperimen dan analisis data yang mendorong peserta didik untuk aktif membangun pemahaman melalui bukti hasil pengukuran. Berdasarkan hal tersebut, penelitian ini bertujuan (1) untuk mengembangkan *Smart Sound Analyzer* sebagai media pembelajaran fisika pada materi gelombang bunyi, (2) menganalisis kelayakan media berdasarkan penilaian ahli dan respons pengguna, serta (3) menganalisis peningkatan keterampilan berpikir kritis peserta didik setelah menggunakan media yang dikembangkan.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini menerapkan metode *Research and Development* (R&D) menggunakan rancangan operasional model ADDIE yang melingkupi lima tahapan mekanis, yaitu *analysis*, *design*, *development*, *implementation*, dan *evaluation*. Model ini dipilih secara sengaja karena menyediakan fase kerja yang sistematis untuk divalidasi dan direvisi secara bertahap dalam menghasilkan produk teknologi pendidikan yang akurat (Khoiriyah et al., 2025). Tujuan utama dari prosedur pengembangan ini adalah menciptakan alat peraga *Smart Sound Analyzer* sebagai media eksperimen gelombang bunyi yang diintegrasikan bersama Lembar Kerja Peserta Didik (LKPD). Tempat pelaksanaan riset dijadwalkan pada semester ganjil tahun pelajaran 2025/2026 di tiga sekolah, yakni SMA YADIKA Bandar Lampung, SMA IT Miftahul Huda, dan SMAN 1 Palas. Penentuan subjek riset mengandalkan teknik *purposive sampling* yang berlandaskan pada tingkat kesiapan sekolah dalam mengadopsi perangkat digital berbasis *Internet of Things* atau IoT (Sonia et al., 2023).

Rangkaian alur pelaksanaan ADDIE diawali dengan pengumpulan data eksplorasi berupa angket kebutuhan siswa dan wawancara pendidik fisika pada tahap analisis. Pada fase desain, peneliti menyusun cetak biru perancangan alat dan instrumen penilaian, disusul tahap pengembangan produk fisik menggunakan sensor suara, mikrokontroler ESP8266, serta integrasi visual platform *ThingSpeak*. Tahap implementasi diuji secara nyata pada total populasi sasaran sebanyak 77 peserta didik kelas XI, dengan rincian kuantitatif penempatan meliputi 28 siswa di SMA YADIKA Bandar Lampung, 24 siswa di SMA IT Miftahul Huda, dan 25 siswa di SMAN 1 Palas. Desain eksperimen pengujian pada fase ini mengadopsi bentuk *pre-experimental* dengan pola *one-group pretest-posttest design* tanpa melibatkan kelompok kontrol eksternal (Sambiri et al., 2025). Langkah penutup diselesaikan melalui tahap evaluasi untuk mengukur derajat kelayakan menyeluruh dari produk praktikum terpadu tersebut setelah diterapkan dalam proses pembelajaran fisika.

Proses pengumpulan data mengombinasikan lembar observasi, angket respons, panduan wawancara, serta tes objektif berupa 15 butir soal pilihan ganda beralasan yang mencakup enam indikator keterampilan berpikir kritis (Ariani, 2020). Data kuantitatif persentase kelayakan produk dihitung menggunakan metode statistik deskriptif, di mana batas minimal kevalidan mengacu pada interpretasi tabel skor minimal sebesar 61% untuk masuk kategori layak (Aksari et al., 2021). Sementara itu, tingkat peningkatan kemampuan berpikir kritis peserta didik dianalisis secara matematis melalui kalkulasi rumus *normalized gain* atau *N-gain* dengan membandingkan selisih nilai sebelum dan sesudah intervensi (Mardiyanti & Jatmiko, 2022). Aspek etika penelitian diprioritaskan secara ketat dengan melakukan konfirmasi perizinan institusional secara formal, menjamin kerahasiaan data pribadi responden, serta menyajikan seluruh profil jawaban secara agregat murni untuk pemenuhan kebutuhan akademik ilmiah.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil

Pengembangan media pembelajaran *Smart Sound Analyzer* dilakukan menggunakan model ADDIE yang meliputi tahap *analysis, design, development, implementation, dan evaluation*. Media ini dikembangkan untuk mendukung pembelajaran fisika pada materi gelombang bunyi kelas XI SMA melalui kegiatan eksperimen dan analisis data bunyi secara langsung. Produk yang dihasilkan terdiri atas alat peraga *Smart Sound Analyzer* berbasis *Internet of Things* (IoT) dan Lembar Kerja Peserta Didik (LKPD) yang dirancang untuk memfasilitasi keterampilan berpikir kritis peserta didik.

Pada tahap analisis, pengembangan media diarahkan pada kebutuhan pembelajaran gelombang bunyi yang memerlukan visualisasi konsep dan kegiatan praktikum berbasis data. Materi gelombang bunyi mencakup konsep frekuensi dan amplitudo yang akan lebih mudah dipahami apabila peserta didik memperoleh pengalaman melakukan pengamatan dan membaca hasil pengukuran secara langsung. Berdasarkan kebutuhan tersebut, media dirancang untuk membantu peserta didik tidak hanya mengamati fenomena bunyi, tetapi juga menginterpretasikan data, menganalisis hubungan antarvariabel, dan menyusun kesimpulan berdasarkan hasil eksperimen. Tahap *design* menghasilkan rancangan media yang terdiri atas perangkat *Smart Sound Analyzer* dan LKPD pendukung. *Smart Sound Analyzer* dirancang menggunakan sensor suara, mikrokontroler ESP8266, perangkat tampilan data, dan platform ThingSpeak untuk menampilkan hasil pengukuran bunyi secara real-time. Media ini dikembangkan agar peserta didik dapat memperoleh data frekuensi dan amplitudo bunyi secara langsung selama kegiatan praktikum. Dengan demikian, alat peraga tidak hanya berfungsi sebagai media demonstrasi, tetapi juga sebagai sarana eksperimen dan analisis data dalam pembelajaran fisika.

LKPD yang dikembangkan berfungsi sebagai panduan peserta didik dalam menggunakan *Smart Sound Analyzer*. Struktur LKPD memuat sampul, kata pengantar, daftar isi, petunjuk penggunaan alat dan LKPD, capaian dan tujuan pembelajaran, peta konsep, deskripsi alat, kegiatan praktikum, aktivitas berpikir kritis, rangkuman, daftar pustaka, dan profil pengembang. Setiap bagian disusun untuk mendukung keterlaksanaan pembelajaran berbasis eksperimen. Petunjuk penggunaan membantu peserta didik mengoperasikan alat secara sistematis, sedangkan kegiatan praktikum dan aktivitas berpikir kritis mengarahkan peserta didik untuk mengamati data, menganalisis hubungan antara frekuensi dan amplitudo, mengevaluasi hasil pengukuran, serta menarik kesimpulan ilmiah.

Tabel 1. Struktur LKPD Terintegrasi *Smart Sound Analyzer*

Bagian	Deskripsi
Sampul LKPD 	Sampul LKPD dirancang dengan tampilan yang menarik dan komunikatif menggunakan kombinasi warna yang sesuai dengan karakteristik pembelajaran fisika. Pada bagian sampul memuat judul LKPD, identitas pengembang, logo institusi, jenjang kelas dan alat peraga <i>Smart Sound Analyzer</i> . Desain sampul bertujuan untuk memberikan kesan awal yang menarik serta menggambarkan isi pembelajaran

	yang berbasis teknologi dan praktikum
Desain Alat Peraga <i>Smart Sound Analyzer</i> 	Bagian ini menggambarkan rancangan alat peraga <i>Smart Sound Analyzer</i> yang dikembangkan, meliputi komponen perangkat keras dan sistem kerja alat berbasis IoT. Komponen utama terdiri atas sensor suara, mikrokontroler ESP8266, dan layar tampilan data. Deskripsi juga memuat fungsi masing-masing komponen serta mekanisme pengukuran frekuensi dan amplitudo bunyi pada kegiatan praktikum.

Berdasarkan hasil tahap desain, alat peragaan *Smart Sound Analyzer* yang dipadukan dengan LKPD berhasil dirancang sebagai media pembelajaran fisika berbasis IoT yang sistematis, interaktif, dan mendukung kegiatan praktikum pada materi gelombang bunyi. Desain media tidak hanya berfokus pada penyajian konsep fisika secara visual dan kontekstual, tetapi juga diarahkan untuk melatih keterampilan berpikir kritis peserta didik melalui aktivitas observasi. Temuan ini sejalan dengan penelitian Hajar yang menyatakan bahwa penggunaan media pembelajaran berbasis IoT dalam pembelajaran sains mampu meningkatkan keterlibatan peserta didik, aktivitas analisis data, serta mendukung pengembangan keterampilan berpikir kritis melalui pembelajaran berbasis eksperimen (St Hajar, 2024)

Dari instrumen penelitian yang digunakan dalam penelitian ini terdiri atas instrumen tes dan non-tes. Instrumen tes meliputi soal *pretest* dan *posttest* keterampilan berpikir kritis, sedangkan instrumen non-tes meliputi lembar validasi ahli dan angket respon peserta didik. Seluruh instrumen telah melalui tahap validasi oleh ahli materi dan ahli media sebelum digunakan dalam penelitian. Proses validasi dilakukan untuk memastikan instrumen memiliki kelayakan, kejelasan, kesesuaian indikator, serta mampu mengukur aspek yang diteliti secara tepat dan objektif. Berikut merupakan ringkasan hasil Validasi:

Hasil Validasi Ahli Materi

Berdasarkan hasil validasi dari ahli materi, diperoleh nilai rata-rata sekor sebesar 99,41% dengan kategori “sangat layak”, Hasil ini menunjukkan bahwa kelayakan dan kedalaman materi pada *Smart Sound Analyzer* melalui LKPD sangat memadai untuk digunakan dalam pembelajaran.

Tabel 2. Hasil Validasi Ahli Materi

Aspek yang Dinilai	Presentase	Kategori
Kelayakan Isi	100%	Sangat Layak
Kelayakan Penyajian	97,50%	Sangat Layak
Kelayakan Bahasa	100%	Sangat Layak
Rata-Rata Total	99,41%	Sangat Layak

Berdasarkan hasil validasi pada Tabel 2, seluruh aspek memperoleh kategori “sangat layak” dengan rata-rata skor 99,41%. Aspek dengan nilai tertinggi adalah kelayakan isi dan kelayakan bahasa sebesar 100%, yang menunjukkan bahwa isi dan bahasa pada LKPD telah sesuai dengan karakteristik pembelajaran. Dengan demikian, menunjukkan bahwa materi yang disajikan dalam LKPD dan alat peraga *Smart Sound Analyzer* telah sesuai dengan tujuan pembelajaran, karakteristik peserta didik, serta indikator keterampilan berfikir kritis pada materi gelombang bunyi. Media yang dikembangkan dinilai memiliki kualitas materi yang sangat baik dan layak digunakan sebagai pendukung pembelajaran fisika berbasis praktikum dan teknologi. Temuan ini sejalan dengan penelitian Muhamad Masyruhan da Umi Pratiwi yang menunjukkan bahwa media pembelajaran berbasis alat peraga memperoleh kategori “sangat layak” dari aspek isi, penyajian, dan bahasa sehingga efektif digunakan dalam pembelajaran fisika (Masyruhan et al., 2020b).

Hasil Validasi Ahli Media

Hasil validasi ahli media menunjukkan rata-rata skor sebesar 87,50% dengan kategori “sangat layak”. Skor yang tertinggi mengindikasikan bahwa aspek tampilan media, kualitas fisik dan teknis, kelayakan teknologi, kemudahan pengguna, keterpaduan LKPD, daya Tarik media dan dukungan berfikir kritis dinilai sangat baik dan fungsional.

Tabel 3. Hasil Validasi Ahli Media

Aspek yang Dinilai	Presentase	Kategori
Tampilan Media	86,60%	Sangat Layak
Kualitas Fisik dan Teknis	90%	Sangat Layak
Kelayakan Teknologi	82,50%	Sangat Layak
Kemudahan Pengguna	90%	Sangat Layak
Keterpaduan LKPD	85%	Sangat Layak
Daya Tarik Media	95%	Sangat Layak
Dukungan Berfikir Kritis	80%	Sangat Layak
Rata-Rata Total	87,50%	Sangat Layak

Berdasarkan hasil validasi ahli media (Tabel 3), seluruh indikator penilaian menunjukkan kategori “sangat layak” untuk digunakan dengan rata-rata keseluruhan sebesar 87,50%. Aspek dengan skor tertinggi terdapat pada *Daya Tarik Media* (95%), yang mengindikasikan bahwa alat peraga *Smart Sound Analyzer* memiliki tampilan yang menarik dan interaktif, Sementara itu, kualitas fisik dan teknis dan kemudahan pengguna memperoleh skor 90%, menandakan bahwa alat peraga memiliki kualitas komponen yang baik, system kerja stabil, mudah dioperasikan, serta mendukung pelaksanaan praktikum secara efektif dan efisien. Hasil ini mengonfirmasikan bahwa alat peraga *Smart Sound Analyzer* dengan keterpaduan LKPD sebagai media pembelajaran fisika memiliki kualitas alat dan desain yang sangat baik dan layak untuk digunakan dalam proses pembelajaran. Temuan ini mendukung pendapat (Saski & Tri, 2021) bahwa media pembelajaran dikatakan “sangat layak” apabila memperoleh nilai kelayakan di atas 80%. Dengan demikian, media yang dikembangkan telah memenuhi standar validasi dan kelayakan untuk diterapkan pada tahap uji lapangan terbatas.

Hasil Validasi Butir Soal

Copyright (c) 2026 ACADEMIA: Jurnal Inovasi Riset Akademik

 <https://doi.org/10.51878/academia.v6i3.12457>

Validasi butir soal untuk menguji kemampuan berfikir kritis peserta didik (15 soal pilihan ganda beralasan) memperoleh rata-rata skor sebesar 94,37% dengan kategori “sangat layak”. Hal ini memastikan bahwa instrument tes yang digunakan valid dan mampu mengukur indicator berfikir kritis yang ditargetkan pada materi gelombang bunyi.

Tabel 4. Hasil Validasi Butir Soal

Aspek yang Dinilai	Presentase	Kategori
Penilaian Terhadap Materi Soal	100%	Sangat Layak
Penilaian terhadap Konstruksi Soal	90%	Sangat Layak
Penilaian terhadap Bahasa Soal	95%	Sangat Layak
Rata-Rata Total	94,37%	Sangat Layak

Secara keseluruhan, hasil validasi sangat layak dari ahli materi, ahli media, dan intrumen menegaskan bahwa alat peraga *Smart Sound Analyzer* dengan keterpaduan LKPD sebagai media pembelajaran fisika ini telah memenuhi standar kelayakan pedagogis, konten, dan teknis untuk diujicobakan dalam pembelajaran. Temuan ini sejalan dengan peneliti (Yunita & Ilyas, 2019) yang menyatakan bahwa alat peraga dalam pembelajaran fisika efektif meningkatkan kemampuan berfikir kritis, yang menjadikan fondasi kelayakan produk ini.

Hasil Respon Peserta didik dan Pendidik Terhadap Alat Peraga *Smart Sound Analyer*

Angket respon menunjukkan penerimaan yang sangat positif dari pengguna. Respon dari peserta didik mencapai rata-rata presentasi 94% dengan kategori “sangat menarik” (Sangat Baik), sementara respons pendidik memperoleh presentase 95,33% dengan kategori “sangat menarik”.

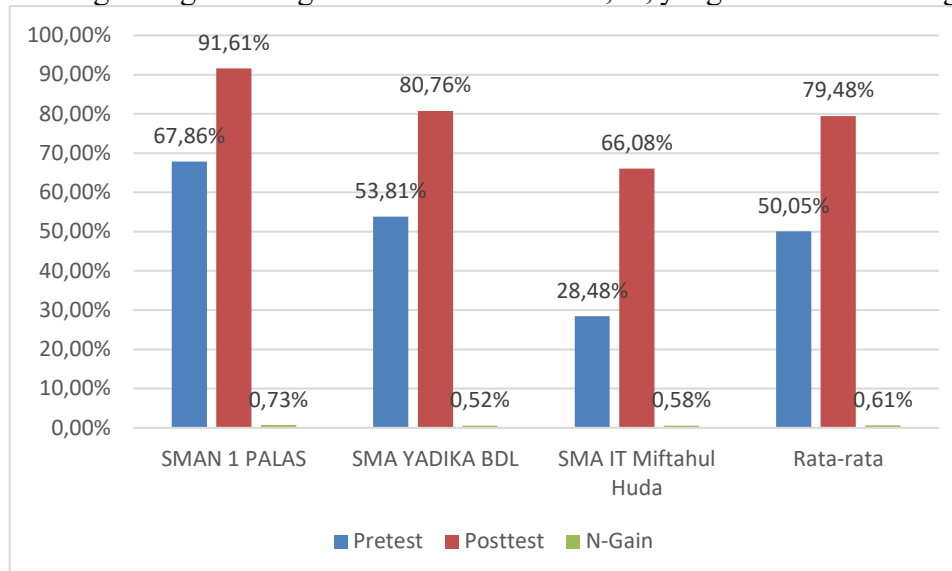
Tabel 5. Hasil Respon Peserta didik dan Pendidik

Responden	Aspek	Presentase	Kategori
Peserta Didik	Aspek Materi	92%	Sangat Menarik
	Aspek Media	96%	Sangat Menarik
	Aspek Berfikir Kritis	94%	Sangat Menarik
	Rata-Rata Total	94%	Sangat Menarik
Pendidik	Aspek Materi	96%	Sangat Menarik
	Aspek Media	94%	Sangat Menarik
	Aspek Berfikir Kritis	96%	Sangat Menarik
	Rata-Rata Total	95,33%	Sangat Menarik

Tingginya presentase respon pendidik dan peserta didik, khususnya pada aspek media dan berfikir kritis, menunjukkan bahwa alat peraga *Smart Sound Analyzer* telah berhasil menciptakan pengalaman belajar yang interaktif, kontekstual, dan berbasis eksperimen langsung. Sehingga mampu meningkatkan motivasi belajar, keterlibatan, serta keaktifan peserta didik selama proses pembelajaran fisika berlangsung. Pendidik juga memberikan respon yang sangat positif, terutama pada aspek materi dan berfikir kritis, yang menegaskan bahwa media pembelajaran ini praktis digunakan, serta mampu mendukung implementasi pembelajaran fisika berbasis praktikum. Temuan ini sejalan dengan penelitian Utami yang menunjukkan bahwa penggunaan alat peraga dalam pembelajaran fisika memperoleh respon sangat positif dari peserta didik dan pendidik karena mampu meningkatkan aktivitas praktikum, keterlibatan belajar, serta menciptakan pembelajaran yang lebih interaktif dan kontekstual (Utami et al., 2025).

Hasil Peningkatan Keterampilan Berfikir Kritis Peserta Didik

Analisis hasil *Pretest* dan *Posttest* menunjukkan peningkatan yang signifikan pada kemampuan berfikir kritis peserta didik setelah menggunakan alat peraga *Smart Sound Analyzer*. Rata-rata nilai *pretest* sebesar 50,05%, meningkat drastis menjadi 79,48% pada *posttest*. Perhitungan N-gain menghasilkan skor sebesar 0,61, yang berada dalam kategori Tinggi.



Gambar 1. Data Peningkatan N-Gain Keterampilan Berfikir Kritis

Peningkatan yang tinggi (N-gain = 0,61) ini dapat disimpulkan bahwa penggunaan alat peraga *Smart Sound analyzer* sebagai media pembelajaran fisika dalam meningkatkan kemampuan berfikir kritis peserta didik. Melalui penggunaan alat peraga berbasis IoT yang terintegrasi dengan LKPD, peserta didik memperoleh pengalaman belajar yang lebih interaktif, kontekstual, dan berbasis data nyata sehingga mampu melatih kemampuan analisis, interpretasi, evaluasi, dan penalaran ilmiah. Temuan ini sejalan dengan penelitian Ade Syarifudin yang menyatakan bahwa integrasi teknologi IoT dalam pembelajaran sains dapat meningkatkan keterampilan berpikir kritis peserta didik melalui aktivitas eksperimen dan analisis data secara langsung (Syarifudin, 2024).

Pembahasan (Diskusi Mendalam)

Pengembangan alat peraga *Smart Sound Analyzer* yang dipadukan dengan LKPD terbukti memberikan kontribusi signifikan terhadap peningkatan keterampilan berpikir kritis peserta didik pada materi gelombang bunyi. Media ini dikembangkan berbasis *Internet of Things* (IoT) dengan memanfaatkan sensor suara, mikrokontroler ESP8266, serta platform *ThingSpeak* untuk menampilkan data frekuensi dan amplitudo bunyi secara real-time. Pendekatan ini dirancang untuk menciptakan pembelajaran fisika yang lebih kontekstual, interaktif, dan berbasis eksperimen, sehingga peserta didik tidak hanya memahami konsep secara teoritis, tetapi juga mampu melakukan pengamatan, analisis data, evaluasi, dan penarikan kesimpulan ilmiah secara mandiri.

Hasil analisis data menunjukkan bahwa penggunaan alat peraga ini meningkatkan keterampilan berpikir kritis peserta didik dengan nilai N-gain sebesar 0,61% pada kategori sedang. Peningkatan ini terjadi karena peserta didik memperoleh pengalaman belajar nyata melalui praktikum dan observasi data bunyi secara langsung. Aktivitas pembelajaran meliputi pengukuran frekuensi dan amplitudo bunyi menggunakan alat peraga, pengamatan perubahan data secara digital, serta analisis hubungan antarvariabel. Pendekatan ini memungkinkan peserta didik untuk mengaitkan konsep gelombang bunyi dengan fenomena nyata di lingkungan

sekitar, sekaligus melatih kemampuan berpikir analitis dan penalaran ilmiah, sebagaimana didukung oleh penelitian terdahulu (Masyruhan et al., 2020b). Selain itu, pemanfaatan LKPD berbasis aktivitas berpikir kritis memperkuat proses belajar. LKPD membimbing peserta didik melalui tahapan identifikasi masalah, interpretasi data, analisis hasil observasi, hingga penyusunan kesimpulan berbasis bukti ilmiah. Kombinasi penggunaan alat peraga dan LKPD memungkinkan pembelajaran bersifat *student-centered*, mendorong keterlibatan aktif peserta didik, dan memfasilitasi transfer pembelajaran dari konsep teoritis ke aplikasi praktis. Dengan demikian, alat peraga ini tidak hanya sebagai media demonstrasi, tetapi juga sebagai sarana pengembangan kemampuan berpikir tingkat tinggi (*higher-order thinking skills*, HOTS) melalui pengamatan, evaluasi, dan interpretasi data secara ilmiah.

Validasi terhadap produk menunjukkan kualitas media yang sangat baik. Validasi ahli materi memperoleh skor 99,41%, sedangkan validasi ahli media memperoleh skor 87,50%, keduanya berada dalam kategori “sangat layak”. Respon pengguna juga menunjukkan penerimaan tinggi, dengan persentase 94% untuk peserta didik dan 95,33% untuk pendidik, yang menegaskan bahwa media ini menarik, mudah digunakan, dan relevan dengan materi pembelajaran. Penggunaan teknologi IoT menjadi keunggulan utama, karena penyajian data *real-time* memperjelas visualisasi konsep frekuensi, amplitudo, dan karakteristik gelombang bunyi, yang secara konvensional bersifat abstrak dan sulit dipahami. Hal ini menciptakan lingkungan belajar aktif, eksploratif, dan berpusat pada peserta didik, sehingga meningkatkan motivasi belajar dan keterlibatan praktikum.

Kebaruan penelitian ini terletak pada integrasi IoT dalam alat peraga fisika yang dipadukan dengan LKPD berbasis aktivitas berpikir kritis khusus untuk materi gelombang bunyi. Tidak seperti penelitian sebelumnya yang hanya menekankan peningkatan pemahaman konsep atau motivasi belajar, media ini secara eksplisit melatih peserta didik untuk menganalisis data eksperimen, mengevaluasi fenomena fisika, dan menarik kesimpulan logis secara sistematis (Puspita & Dewi, 2021) (Syarifudin, 2024). Dengan demikian, *Smart Sound Analyzer* menjadi alternatif media pembelajaran fisika inovatif yang sesuai dengan tuntutan pembelajaran abad ke-21, mendukung pengembangan keterampilan berpikir kritis, penalaran ilmiah, dan pengambilan keputusan berbasis data nyata.

KESIMPULAN

Pengembangan media *smart sound analyzer* berbasis *internet of things* terbukti efektif mendongkrak keterampilan berpikir kritis dan motivasi belajar peserta didik pada materi gelombang bunyi. Pengintegrasian instrumen sensor suara, mikrokontroler, serta lembar kerja interaktif sukses memfasilitasi visualisasi konsep abstrak mengenai frekuensi dan amplitudo secara aktual. Produk inovatif ini telah memenuhi kriteria validasi pedagogis, kualitas materi, serta tampilan fisik yang fungsional dari para ahli, serta memperoleh tingkat penerimaan yang sangat positif dari para pendidik dan siswa. Pembelajaran berbasis eksperimen nyata ini berhasil mentransformasikan pola pengajaran konvensional menjadi eksplorasi ilmiah yang berpusat pada siswa. Aktivitas membaca data eksperimen, menganalisis hubungan antarvariabel, dan mengevaluasi fenomena fisika secara mendalam terbukti ampuh melatih penalaran ilmiah dan keterampilan berpikir tingkat tinggi bagi siswa kelas sebelas secara optimal.

Peneliti selanjutnya disarankan untuk menerapkan desain eksperimen murni dengan pendekatan *mixed methods* guna mengukur efektivitas media *smart sound analyzer* secara lebih komprehensif. Eksplorasi riset ke depan perlu diarahkan pada pengembangan sistem sensor yang lebih presisi dengan menambahkan fitur analisis spektrum gelombang bunyi secara multiparameter. Ukuran penarikan sampel amatan hendaknya diperluas secara masif dengan



melibatkan beberapa sekolah menengah atas di wilayah pedalaman atau kawasan terpencil guna menguji ketahanan alat pada kondisi sosiogeografis yang berbeda. Peneliti mendatang juga dianjurkan untuk menambahkan variabel pemoderat potensial seperti tingkat literasi digital keluarga, efikasi diri siswa, serta ketersediaan sarana prasarana sekolah. Pengondisian pengamatan melalui studi *longitudinal* sangat diperlukan untuk melacak stabilitas ketahanan retensi memori dan konsistensi keterampilan berpikir kritis siswa secara berkala.

DAFTAR PUSTAKA

- Adnan, M., & Annisa, F. (2025). Analisis keterampilan proses sains peserta didik melalui kegiatan praktikum pada materi fluida statis di SMAN Unggul Pidie Jaya. *Relativitas: Jurnal Riset Inovasi Pembelajaran Fisika*, 8(1), 84–94. <https://doi.org/10.29103/relativitas.v8i1.21320>
- Aksari, V., Budhi, W., & Hasanah, D. (2021). Pengembangan e-LKPD fisika berbasis inkuiri terbimbing pada materi gerak lurus untuk peserta didik kelas X SMA. *Jurnal Riset dan Kajian Pendidikan Fisika*, 8(1), 43. <https://doi.org/10.12928/jrkpf.v8i1.20210>
- Ardiansyah, A., Mahrun, M., & Purnamansyah, P. (2023). Pengembangan alat peraga fisika dasar berbasis konstruktivisme untuk membangun keterampilan generik sains pada peserta didik SMA. *JagoMIPA: Jurnal Pendidikan Matematika dan IPA*, 3(1), 25–32. <https://doi.org/10.53299/jagomipa.v3i1.265>
- Ariani, R. (2019). Analisis landasan ilmu pengetahuan dan teknologi pendidikan dalam pengembangan multimedia interaktif. *Jurnal Penelitian Pembelajaran Fisika*, 5(2), 155–162.
- Ariani, T. (2020). Analysis of students' critical thinking skills in physics problems. *Kasuari: Physics Education Journal (KPEJ)*, 3(1), 1–17. <https://doi.org/10.37891/kpej.v3i1.119>
- Bungkuran, A., Taunamang, H., & Komansilan, A. (2021). Pengembangan bahan ajar berbantuan Amrita Olabs pada materi gelombang bunyi. *Charm Sains: Jurnal Pendidikan Fisika*, 2(3). <https://doi.org/10.53682/charmsains.v2i3.123>
- Cahyadi, R. A. H. (2019). Pengembangan bahan ajar berbasis ADDIE model. *Halaqa: Islamic Education Journal*, 3(1), 35–42. <https://doi.org/10.21070/halaqa.v3i1.2124>
- Cahyadi, R. M. S., Wiliyanti, V., & Gunawan, I. (2024). Augmented reality-based physics learning media to improve students' motivation and learning outcomes: A systematic literature review. *Jurnal Pembelajaran Fisika*, 2, 63–80.
- Cahyadi, R. M. S., Wiliyanti, V., Latifah, S., Emeliza, Y., Fisika, P., Tarbiyah, F., Keguruan, D., Raden, U., & Lampung, I. (2025). Internet of things for smart physics laboratories: A bibliometric study on emerging trends and future directions (2019-2025). *Journal of Bioterdidik: Scientific Expression Media*, 13(3), 47–56. <https://doi.org/10.23960/jbt.1335>
- Chen, L. X., Su, S. W., Liao, C. H., Yan, J. Y., & Yuan, S. M. (2026). The impact of computational thinking teaching aids on secondary students: A digital game application. *Thinking Skills and Creativity*, 62. <https://doi.org/10.1016/j.tsc.2026.102222>
- Daniela, L. (2021). *Smart pedagogy of the internet of things: Education and technology in the 21st century*. Springer Nature.
- Deswitasari, F., & Rokhmat, J. (2024). Pengaruh model pembelajaran berbasis eksperimen dalam mengembangkan kemampuan berpikir kritis dan kreativitas siswa SMA pada



- konsep usaha dan energi. *Contextual Natural Science Education Journal (CNSEJ)*, 2(3), 103–109. <https://doi.org/10.29303/cnsej.v2i3.1230>
- Diani, R., Octafiona, E., Satiarti, R. B., Wiliyanti, V., & Janah, M. H. (2023). Physics learning with Brain-Based Learning (BBL) model and SAVIR approach: The effects on students' problem-solving ability. *AIP Conference Proceedings*, 2595, Artikel 020008. <https://doi.org/10.1063/5.0123734>
- Febriani, F., Ibnusaputra, M., Pradana, P. W., & Jumadi, J. (2022). Socioscientific issues-based guided-inquiry e-worksheet on optical instruments topic. *Jurnal Ilmiah Pendidikan Fisika Al-Biruni*, 11(2), 231–241. <https://doi.org/10.24042/jipfalbiruni.v11i2.12603>
- Fitriyah, I. M. N., & Ghofur, M. A. (2022). Pengembangan e-LKPD berbasis Android dengan model pembelajaran problem based learning (PBL) untuk meningkatkan berpikir kritis. *Jurnal Ekonomi dan Pendidikan*, 18(2), 218–229. <https://doi.org/10.21831/jep.v18i2.41224>
- Furnaisuri, R. (2025). Evolusi peran guru dari era konvensional ke era teknologi dalam meningkatkan kemajuan proses pembelajaran. *Jurnal Pembelajaran dan Pengembangan Diri*, 4(1), 615–624. <https://doi.org/10.47353/bj.v4i1.516>
- Hajar, S. A. F. (2024). IoT in physics experiments to improve science process skills: A literature review. *Indonesian Journal of Applied Science and Technology*, 2(1), 306–312.
- Islamiah, M., Triyunita, N., & Suwondo, N. (2022). Pengembangan perangkat pengukuran variabel cuaca menggunakan sensor besaran fisika berbasis internet of things. *Jurnal Pendidikan MIPA*, 12(3), 739–746. <https://doi.org/10.37630/jpm.v12i3.656>
- Jailani, M. (2026). Inovasi pembelajaran fisika di era digital: Suatu tinjauan sistematis terhadap model dan teknologi pembelajaran modern. *Jurnal Inovasi Pembelajaran Fisika*, 4(1), 23–30. <https://doi.org/10.30822/5z3snw81>
- Khoiriyah, S., Latifah, S., & Wiliyanti, V. (2025). Development of augmented reality (AR) physics learning media based on STEM-R for students' concept understanding. *Jurnal Penelitian Pembelajaran Fisika*, 16(4), 362–373. <https://doi.org/10.26877/jp2f.v16i4.2803>
- Latifah, N., Dewi, G. K., & Wibowo, S. (2024). Pengembangan media pop up book terhadap hasil belajar siswa kelas II sekolah dasar. *Pendas: Jurnal Ilmiah Pendidikan Dasar*, 9(04), 673–687.
- Latifah, S., Wiliyanti, V., & Sari, I. P. (2024). Design and implementation of e-LKPD using the LOK-R model for electromagnetic wave material in senior high school. *INSECTA: Integrative Science Education and Teaching Activity Journal*, 5(2), 234–248. <https://doi.org/10.21154/insecta.v5i2.9866>
- Latifah, S., Yuberti, Y., & Agestiana, V. (2020). Pengembangan media pembelajaran interaktif berbasis HOTS menggunakan aplikasi Lectora Inspire. *Jurnal Penelitian Pembelajaran Fisika*, 11(1), 9–16. <https://doi.org/10.26877/jp2f.v11i1.3851>
- Lestari, D. A. (2024). Pengembangan alat peraga mini Sopetric (Solar Powered Electricity) pada materi energi alternatif di kelas X SMA. *Jurnal Ilmu Pendidikan dan Pembelajaran*, 2(2), 306–312. <https://doi.org/10.58706/jipp>
- Lima, Y. D., Nasar, A., & Astro, R. B. (2023). Pengembangan alat peraga pembangkit listrik tenaga mikrohidro (PLTMH) sebagai media pembelajaran fisika pada konsep energi terbarukan. *LENSA (Lentera Sains): Jurnal Pendidikan IPA*, 13(2), 127–136. <https://doi.org/10.24929/lensa.v13i2.291>



- Mairizwan, M., Hidayat, H., Dewi, W. S., Afrizon, R., & Jarlis, R. (2022). Increasing the competence of physics teachers in designing PjBL-based teaching aids for the implementation of the Merdeka curriculum. *Jurnal Penelitian Pendidikan IPA*, 8(6), 2948–2953. <https://doi.org/10.29303/jppipa.v8i6.2585>
- Mardiyanti, N. E. A., & Jatmiko, B. (2022). Pengaruh model pembelajaran inkuiri terbimbing berbantuan media PhET terhadap kemampuan pemecahan masalah dan berpikir kritis fisika peserta didik SMA. *Jurnal Ilmiah Pendidikan Fisika*, 6(2), 328–337. <https://doi.org/10.20527/jipf.v6i2.5281>
- Masyruhan, M., Pratiwi, U., & Al Hakim, Y. (2020). Perancangan alat peraga hukum Hooke berbasis mikrokontroler Arduino sebagai media pembelajaran fisika. *SPEKTRA: Jurnal Kajian Pendidikan Sains*, 6(2), 145–155. <http://dx.doi.org/10.32699/spektra.v6i2i145>
- Medica, W. P., Suyana, I., & Tarigan, D. E. (2021). Penggunaan media virtual laboratory dalam pembelajaran untuk meningkatkan pengetahuan konsep gelombang bunyi. *WaPFI (Wahana Pendidikan Fisika)*, 7(1), 83–92. <https://doi.org/10.17509/wapfi.v7i1.36964>
- Ndihokubwayo, K., Uwamahoro, J., & Ndayambaje, I. (2020). Usability of electronic instructional tools in the physics classroom. *Eurasia Journal of Mathematics, Science and Technology Education*, 16(11). <https://doi.org/10.29333/ejmste/8549>
- Pangke, R., Rende, J. C., & Komansilan, A. (2021). Pengembangan alat peraga sebagai media pembelajaran penerapan konsep hukum Pascal untuk peserta didik kelas VIII di SMP Negeri 1 Sitimel. *Charm Sains: Jurnal Pendidikan Fisika*, 2(2), 75–82. <https://doi.org/10.53682/charmsains.v2i2.110>
- Pauziah, D., Septian, M. F., Sari, N. N., & Laksanawati, W. D. (2023). Hasil analisis kebutuhan media Smart Kinematic Car berbasis IoT (Internet of Things) pada materi kecepatan dan percepatan. *Jurnal Penelitian Pembelajaran Fisika*, 14(2), 256–260. <https://doi.org/10.26877/jp2f.v14i2.14828>
- Prayitno, H., Rahmad, I. N., Chusna, C. A., Saryanto, S., & Wiliyanti, V. (2024). Analysis of the influence of effective teaching methodology, knowledge of curriculum design and class mastery on the effectiveness of teaching and learning activities. *Journal on Education*, 6(4), 20641–20646. <https://doi.org/10.31004/joe.v6i4.6156>
- Prihatiningtyas, S., & Putra, I. A. (2018). Efektivitas penggunaan alat peraga sederhana berbasis pendekatan sains teknologi masyarakat pada materi fluida statis. *Jurnal Riset dan Kajian Pendidikan Fisika*, 5(2), 102–108. <https://doi.org/10.12928/jrkpf.v5i2.10988>
- Pujiyanti, A., Ellianawati, E., & Hardyanto, W. (2021). Penerapan model problem based learning (PBL) berbantuan alat peraga untuk meningkatkan minat dan hasil belajar fisika siswa MA. *Physics Education Research Journal*, 3(1), 41–52. <https://doi.org/10.21580/perj.2021.3.1.6666>
- Puri, P. R. A., & Perdana, R. (2023). Analisis kemampuan pemahaman konsep fisika peserta didik SMA di Bantul pada materi fluida statis dan upaya peningkatannya melalui model pembelajaran Visualization Auditory Kinesthetic. *Magneton: Jurnal Inovasi Pembelajaran Fisika UNWIRA*, 1(2), 93–101. <https://doi.org/10.30822/magneton.v1i2.2463>
- Puspita, V., & Dewi, I. P. (2021). Efektifitas e-LKPD berbasis pendekatan investigasi terhadap kemampuan berfikir kritis siswa sekolah dasar. *Jurnal Cendekia: Jurnal Pendidikan Matematika*, 5(1), 86–96. <https://doi.org/10.31004/cendekia.v5i1.456>



- Putri, P. C. W. (2020). Pengembangan alat peraga hidrolis sederhana sebagai media pembelajaran fisika sub materi hukum Pascal siswa kelas XI SMA Negeri Kesamben Jombang. *Jurnal Inovasi Pendidikan Fisika*, 9(3), 551–554.
- Radu, I., Huang, X., Kestin, G., & Schneider, B. (2023). How augmented reality influences student learning and inquiry styles: A study of 1-1 physics remote AR tutoring. *Computers & Education: X Reality*, 2, 100011. <https://doi.org/10.1016/j.cexr.2023.100011>
- Ramadiani, S., Silvianti, N., Putra, R. P., & Agustina, R. D. (2022). Uji perbandingan kegiatan laboratorium berbasis IoT dengan virtual laboratory pada materi periode bandul dengan HOTLAB. *Jurnal Penelitian Ilmu Pendidikan*, 15(1). <https://doi.org/10.21831/jpipfip.v15i1.41485>
- Sambiri, U., Saputra, A., & Handayani, H. I. (2025). Pengaruh pendekatan multirepresentasi terhadap pemahaman konsep fisika mahasiswa pendidikan fisika. *Gravitasi: Jurnal Pendidikan Fisika dan Sains*, 8(1), 13–19. <https://doi.org/10.33059/gravitasi.jpfs.v8i01.11637>
- Saski, N. H., & Tri, S. (2021). Kelayakan media pembelajaran market learning berbasis digital pada mata kuliah strategi pemasaran. *Jurnal Pendidikan Tata Niaga (JPTN)*, 9(1), 1118–1124. <https://doi.org/10.26740/jptn.v9n1.p1118-1124>
- Setiawan, T. Y., Destrinelli, D., & Wulandari, B. A. (2022). Keterampilan berfikir kritis pada pembelajaran IPA menggunakan model pembelajaran Radec di sekolah dasar: Systematic literature review. *Justek: Jurnal Sains dan Teknologi*, 5(2), 133–142. <https://doi.org/10.31764/justek.v5i2.11421>
- Siahaan, P., Setiawan, Y. C., Fratiwi, N. J., Samsudin, A., & Suhendi, E. (2020). The development of critical thinking skills and collaborative skill profiles aided by multimedia-based integrated instruction on light refraction material. *Universal Journal of Educational Research*, 8(6), 2599–2613. <https://doi.org/10.13189/ujer.2020.080643>
- Sonia, M. A., Maing, C. M. M., & Mukin, M. U. J. (2023). Analisis kemampuan pemahaman konsep fisika materi tekanan pada siswa kelas VIII C SMPN 3 Kupang. *Magneton: Jurnal Inovasi Pembelajaran Fisika UNWIRA*, 1(1), 23–27. <https://doi.org/10.30822/magneton.v1i1.2044>
- Suarti, S., & Ramadhani, A. R. A. (2022). Analisis keterampilan berpikir kritis dalam menyelesaikan soal termodinamika melalui model SQ3R (Survey, Question, Read, Recite, Review). *Al-Khazini: Jurnal Pendidikan Fisika*, 2(1), 31–37. <https://doi.org/10.24252/al-khazini.v2i1.31545>
- Sujiyanti, Kassiavera, Suparmi, A., CC, d. S S. (2024). Application of Rasch model in two-tier test for assessing critical thinking in physics education. *Journal of Baltic Science Education*, 23(6), 1227–1242. <https://doi.org/10.33225/jbse/24.23.1227>
- Syafitri, E., Armanto, D., & Rahmadani, E. (2021). Aksiologi kemampuan berpikir kritis (Kajian tentang manfaat dari kemampuan berpikir kritis). *Journal of Science and Social Research*, 4(3), 320–325. <https://doi.org/10.54314/jssr.v4i3.682>
- Syarifudin, A. (2024). Integrasi teknologi dalam pembelajaran: Kajian pedagogi untuk mengembangkan kemampuan berfikir kritis. *Jurnal Ilmiah Pendidikan Dasar*, 2(4), 306–312. <https://doi.org/10.23969/jp.v10i04.38401>
- Thornhill-Miller, B., Camarda, A., Mercier, M., Burkhardt, J. M., Morisseau, T., Bourgeois-Bougrine, S., Vinchon, F., El Hayek, S., Augereau-Landais, M., Mourey, F., Feybesse, C., Sundquist, D., & Lubart, T. (2023). Creativity, critical thinking,



- communication, and collaboration: Assessment, certification, and promotion of 21st century skills for the future of work and education. *Journal of Intelligence*, 11(3). <https://doi.org/10.3390/jintelligence11030054>
- Ula, A. S. U., Aulia, E. V., & Mahdiannur, M. A. (2025). Efektivitas penggunaan simulasi PhET dalam pembelajaran fisika untuk meningkatkan pemahaman konsep hukum Newton pada siswa SMA. *Jurnal Cahaya Edukasi*, 2(4), 74–78. <https://doi.org/10.63863/jce.v2i4.148>
- Utami, V. B., Fitriani, W., & Fathan, F. (2025). Pendampingan siswa dan guru dalam pembelajaran fisika melalui penggunaan alat peraga berbantuan LKPD sebagai media pembelajaran interaktif. *Jurnal Pengabdian Masyarakat Sains dan Aplikasinya (JPMSA)*, 5(2), 26–30. <https://doi.org/10.21009/jpmsa.v5i2.62195>
- Viga, S., Permatasari, G., & Fauzi, A. (2021). Pengembangan e-modul interaktif materi gelombang bunyi dan cahaya berbasis VAK learning. *Jurnal Materi dan Pembelajaran Fisika*, 11(65), 102–109. <https://doi.org/10.20961/jmpf.v11i2.49235>
- Wiliyanti, V., Latifah, S., Syarlisjisman, M. R., & Kurnia, A. E. (2023). Pengembangan media pembelajaran fisika berbasis mobile learning berbantuan Smart Apps Creator pada materi fluida dinamis. *Seminar Nasional Pembelajaran Matematika, Sains dan Teknologi*, 3, 129–137.
- Yani, R. F., Arini, W., & Yolanda, Y. (2023). Pengembangan e-modul gelombang bunyi berbantuan aplikasi Phyphox untuk meningkatkan kemandirian dan hasil belajar siswa kelas XI IPA MAN 2 Lubuklinggau. *Jurnal Perspektif Pendidikan*, 17(1), 80–88. <https://doi.org/10.31540/jpp.v17i1.2216>
- Yunita, I., & Ilyas, A. (2019). Effectiveness of electromagnetic induction props to student's critical thinking ability. *Indonesian Journal of Science and Mathematics Education*, 2(2), 245–253. <https://doi.org/10.24042/ijsme.v2i2.4349>
- Yusra, R. A., Kusumah, F. H., & Suryadi, A. (2025). Pengaruh PjBL-STEM terhadap peningkatan keterampilan berpikir kritis pada materi energi terbarukan dalam mendukung pendidikan yang berkualitas. *Jurnal Pendidikan Matematika dan Sains*, 13(Special Issue), 26–37. https://doi.org/10.21831/jpms.v13ispecial_issue.86537
- Zhan, Z., Zhong, X., Lin, Z., & Tan, R. (2024). Exploring the effect of VR-enhanced teaching aids in STEAM education: An embodied cognition perspective. *Computers and Education: X Reality*, 4. <https://doi.org/10.1016/j.cexr.2024.100067>
- Zhao, J., Tian, Z., Zhang, X., Duan, Z., & Lu, J. (2024). Kinetics parameter identification of chain shuttling polymerization based on physics-informed neural networks. *IFAC-PapersOnLine*, 58(14), 184–191. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2024.08.334>
- Zöllner, J., Preim, B., Vahlbruch, J. W., Pottgießer, V., & Saalfeld, P. (2025). Exploration of interactive nuclide chart visualisations in virtual reality for physics education. *Computers & Graphics*, 130. <https://doi.org/10.1016/j.cag.2025.104258>