UPEJ 14 (3) (2025)

Unnes Physics Education Journal

Terakreditasi SINTA 3

https://journal.unnes.ac.id/journals/upej

Pengembangan E-LKPD Praktikum Berbasis STEM pada Materi Gelombang Bunyi di Sekolah Menengah dengan Memanfaatkan Alat Musik Gitar

Rizqotun Mukaromah✉**, Ngurah Made Darma Putra**

Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Semarang, Indonesia Gedung D7 Lt. 2, Kampus Sekaran, Gunungpati, Semarang 50229

Info Artikel

Sejarah Artikel:
Diterima Juni 2025
Disetujui Oktober 2025
Dipublikasikan Desember 2025

Keywords: e-LKPD, STEM, Sound Waves

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan e-LKPD praktikum berbasis STEM dengan memanfaatkan alat musik gitar pada materi gelombang bunyi, khususnya pada sub topik sumber bunyi pada dawai. Selain itu, penelitian ini juga bertujuan untuk menganalisis karakteristik e-LKPD serta menguji kelayakan, kepraktisan, dan keefektifan e-LKPD yang dikembangkan. Penelitian yang dilakukan merupakan jenis penelitian *Research and Development* (R&D) dengan model pengembangan ADDIE. Subjek penelitian ini adalah siswa kelas XI-2 SMA Negeri 1 Tahunan. Teknik pengumpulan data dilakukan dengan teknik wawancara, angket, observasi, dan tes. Analisis data dilakukan dengan menghitung jumlah skor keseluruhan dari setiap aspek dan membandingkan total skor dengan kriteria pilihan. Hasil menunjukkan e-LKPD sesuai Kurikulum Merdeka, fleksibel, dan interaktif. Secara keseluruhan, e-LKPD mendapatkan nilai sangat layak dengan persentase 96,95%. Dari sisi kepraktisan, berdasarkan respons siswa, produk ini memperoleh persentase 88,4% yang menunjukkan kategori sangat praktis. Keefektifan e-LKPD juga terbukti dengan adanya peningkatan signifikan pada hasil belajar siswa, ditunjukkan dari rata-rata skor *pre-test* 5,72 meningkat menjadi 16,33 pada *post-test*. Diperoleh *n-gain* sebesar 0,74 dengan kategori tinggi mengindikasikan bahwa e-LKPD praktikum yang dikembangkan efektif untuk meningkatkan pemahaman peserta didik.

Abstract

This study aims to develop a STEM-based practical e-LKPD by utilizing a guitar musical instrument on the sound wave material, especially on the sub-topic of sound sources on strings. In addition, this study also aims to analyze the characteristics of e-LKPD and test the feasibility, practicality, and effectiveness of the developed e-LKPD. The research conducted is a type of Research and Development (R&D) research with the ADDIE development model. The subjects of this study were students of class XI-2 of SMA Negeri 1 Tahunan. Data collection techniques were carried out using interview, questionnaire, observation, and test techniques. Data analysis was carried out by calculating the total score of each aspect and comparing the total score with the selection criteria. The results show that e-LKPD is in accordance with the Merdeka Curriculum, flexible, and interactive. Overall, e-LKPD received a very decent score with a percentage of 96.95%. In terms of practicality, based on student responsses, this product received a percentage of 88.4% which indicates a very practical category. The effectiveness of e-LKPD is also proven by a significant increase in student learning outcomes, indicated by an average pre-test score of 5.72 increasing to 16.33 in the post-test. An n-gain of 0.74 was obtained with a high category indicating that the developed e-LKPD practicum is effective in improving student understanding.

.

©2025 Universitas Negeri Semarang

✉ Alamat koresponsdensi: Gedung D7 Lt. 2, Kampus Sekaran, Gunungpati, Semarang 50229
E-mail: rizqotunmukaromah@students.unnes.ac.id

ISSN 2252- 6935

PENDAHULUAN

Pendidikan abad ke-21 menuntut peserta didik memiliki keterampilan berpikir kritis, kolaboratif, kreatif, serta mampu berkomunikasi secara efektif. Transformasi pendidikan ini menekankan pada pentingnya pembelajaran kontekstual, integratif, dan berbasis teknologi (Banarsari *et al.*, 2023). Teknologi menjadi alat bantu utama dalam proses belajar mengajar yang mampu menyediakan akses belajar yang lebih interaktif, fleksibel, dan relevan dengan kebutuhan siswa (Hurrahma & Sylvia, 2022).

Salah satu bentuk pemanfaatan teknologi dalam pembelajaran adalah penggunaan e-LKPD (Lembar Kerja Peserta Didik elektronik). Berbeda dari LKPD cetak, e- LKPD memungkinkan integrasi teks, gambar, video, audio, dan evaluasi otomatis yang menjadikan pembelajaran lebih menarik dan efisien (Herawati *et al.*, 2016). E-LKPD dapat membantu guru dalam memberikan pembelajaran yang terstruktur sekaligus memberikan siswa kesempatan belajar secara mandiri dengan pengalaman digital yang lebih kaya (Rizkika *et al.*, 2022). Dalam konteks pembelajaran fisika, yang sangat mengandalkan praktik dan pengamatan, e- LKPD berbasis teknologi ini sangat potensial dalam mendukung pemahaman konsep (Silka & Bethony, 2022).

Fisika merupakan cabang ilmu sains yang menekankan pemahaman fenomena alam melalui pendekatan ilmiah dan eksperimen. Salah satu materi yang menuntut pemahaman konseptual dan keterlibatan praktis adalah gelombang bunyi, terutama dalam subpokok bahasan sumber bunyi pada dawai. Dalam hal ini, alat musik gitar menjadi salah satu media yang relevan untuk menjelaskan bagaimana frekuensi bunyi dipengaruhi oleh panjang, tegangan, dan massa dawai (Waluyo *et al.*, 2016). Praktikum menggunakan gitar dapat memperlihatkan fenomena gelombang stasioner secara langsung, sehingga membuat pembelajaran lebih kontekstual dan mudah dipahami oleh siswa (Solehah *et al.*, 2024).

Pendekatan STEM (*Science, Technology, Engineering, and Mathematics*) semakin banyak digunakan dalam pendidikan fisika karena mengintegrasikan empat disiplin ilmu untuk menyelesaikan masalah nyata (Simatupang *et al.*, 2019). STEM tidak hanya menekankan teori, tetapi juga pengembangan keterampilan berpikir kritis, inovatif, dan kolaboratif (Mulyani, 2019). Dalam pembelajaran fisika, integrasi STEM dapat dilakukan melalui praktikum, salah satunya melalui e-LKPD berbasis STEM (Arrohman *et al.*, 2022). Penelitian menunjukkan bahwa pendekatan ini efektif dalam meningkatkan pemahaman konsep dan keterampilan pemecahan masalah siswa (Santoso & Mosik, 2019).

Berbagai studi sebelumnya telah mengembangkan e-LKPD berbasis STEM pada berbagai topik fisika. Sari *et al.* (2022) mengembangkan e-LKPD berbasis *problem based learning* pada materi IPA dan menunjukkan validitas sangat baik sebesar 83% dan kepraktisan sebesar 89%. Ariyansah *et al.* (2021) mengembangkan e-LKPD fisika berbantuan aplikasi *Phyphox* pada materi gerak harmonik sederhana, dan memperoleh nilai validitas sebesar 87,6%, serta keefektifan dengan *n-gain* 0,71 (kategori tinggi). Alma *et al.* (2022) juga menunjukkan keefektifan pengembangan e-LKPD berbasis inkuiri terbimbing dengan *n-gain* 0,70.

Di sisi lain, penelitian oleh Afifah Noor *et al.* (2020) menunjukkan bahwa aplikasi *smartphone* seperti *Frequency Counter* dapat digunakan untuk menganalisis frekuensi bunyi, dan *GuitarTuna* terbukti mendukung proses penyeteman dawai secara akurat (Fikri & Samino, 2019). Sementara itu, Fitriyani & Andryani (2023) menemukan bahwa *software Audacity* memiliki tingkat akurasi 98,2% dalam menganalisis frekuensi bunyi, yang sangat berguna dalam kegiatan

praktikum.

Berdasarkan hasil observasi, keterbatasan alat dan fasilitas eksperimen di sekolah seperti SMA Negeri 1 Tahunan menjadi penghambat terlaksananya pembelajaran praktikum, terutama pada materi gelombang bunyi (Maisyaroh & Supahar, 2020). Pemahaman konsep merupakan aspek penting yang mendapat perhatian utama dalam pembelajaran fisika, karena berpengaruh terhadap hasil belajar peserta didik. Pemahaman siswa terhadap konsep-konsep abstrak dapat dilatih melalui kegiatan praktikum (Trianggono, 2017). Oleh karena itu, pengembangan e-LKPD berbasis STEM dengan memanfaatkan alat musik gitar menjadi solusi yang aplikatif dan inovatif.

Kurikulum Merdeka yang saat ini diterapkan menekankan pada ketercapaian kompetensi dan karakter pelajar Pancasila melalui kegiatan belajar yang kontekstual dan berbasis proyek (Aditomo *et al.*, 2022). Pada fase F untuk kelas XI, materi gelombang bunyi merupakan bagian dari capaian pembelajaran fisika yang menuntut siswa untuk memahami konsep, melakukan penyelidikan, dan melakukan analisis data secara mandiri dan kolaboratif (Wahyudin *et al.*, 2024). Untuk itu, pembelajaran melalui e-LKPD praktikum berbasis STEM sangat sejalan dengan arah kebijakan kurikulum ini.

Dengan memanfaatkan alat musik gitar, siswa dapat mengamati langsung efek perubahan panjang dan tegangan dawai terhadap frekuensi bunyi yang dihasilkan, sesuai dengan hukum dasar fisika mengenai gelombang pada dawai (Giancoli, 2001). Persamaan fisika yang menjelaskan frekuensi dapat diukur secara langsung melalui aplikasi teknologi yang terintegrasi dalam e-LKPD. Hal ini memberikan pengalaman belajar yang konkret, menyenangkan, dan bermakna (Bektiarso *et al.*, 2023).

Berdasarkan uraian tersebut, penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan dan mengkaji karakteristik, kelayakan, kepraktisan dan keefektifan e-LKPD praktikum berbasis STEM pada materi gelombang bunyi di Sekolah Menengah dengan memanfaatkan alat musik gitar.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini merupakan penelitian *Research and Development* (R&D) yang bertujuan untuk mengembangkan dan menguji keefektifan produk berupa e-LKPD praktikum berbasis STEM pada materi gelombang bunyi dengan memanfaatkan alat musik gitar. Model pengembangan yang digunakan adalah model ADDIE yang mencakup lima tahap, yaitu *Analysis, Design, Development, Implementation,* dan *Evaluation* (Branch, 2010).

Tahap *analysis* meliputi analisis kebutuhan pembelajaran, kurikulum, dan karakteristik peserta didik. Wawancara dilakukan dengan guru fisika di SMA Negeri 1 Tahunan untuk mengidentifikasi keterbatasan pembelajaran praktikum fisika, khususnya pada materi gelombang bunyi. Tahap *design* meliputi penyusunan desain awal e-LKPD termasuk kompetensi dasar, tujuan pembelajaran, materi konsep, langkah praktikum, evaluasi, dan media pendukung seperti *Audacity* dan *GuitarTuna*. Disusun pula instrumen *pre-test* dan *post-test* untuk mengukur pemahaman konsep. Tahap *development* meliputi prototipe e-LKPD divalidasi oleh ahli materi, media, dan teknologi, kemudian hasil validasi digunakan untuk revisi sebelum uji coba. Selain itu, instrumen tes diuji validitas dan reliabilitasnya. Tahap *implementation* meliputi uji coba produk ke kelas XI-2 SMA Negeri 1 Tahunan dan pelaksanaan pembelajaran menggunakan e- LKPD untuk menilai kepraktisan dan

keefektifan bahan ajar. Tahap *evaluation* melakukan perbaikan e-LKPD secara menyeluruh.

Penelitian menggunakan desain kuasi eksperimen dengan model *one group pre-test and post-test design* (Sugiyono, 2012). Desain ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh penggunaan e-LKPD terhadap pemahaman konsep siswa sebelum dan sesudah perlakuan. Penelitian dilaksanakan di SMA Negeri 1 Tahunan, Kabupaten Jepara, Jawa Tengah, pada tanggal 20 Januari hingga 4 Februari 2025. Subjek penelitian yaitu 36 siswa kelas XI-2 SMA Negeri 1 Tahunan.

Pengumpulan data dalam penelitian ini dilakukan melalui beberapa teknik, yaitu wawancara, observasi, tes, dan angket. Instrumen yang digunakan dalam penelitian ini meliputi beberapa komponen yaitu e-LKPD berbasis STEM yang disusun melalui *platform Liveworksheets*. Kemudian lembar validasi ahli yang mencakup aspek materi, media, dan teknologi, digunakan untuk menilai kelayakan produk. Selain itu, soal *pre-test* dan *post-test* yang dirancang untuk mengukur tingkat pemahaman konsep siswa, dan telah melalui proses uji validitas serta reliabilitas. Kemudian lembar responss siswa digunakan untuk mengetahui tanggapan peserta didik terhadap e-LKPD.

Data yang diperoleh dianalisis melalui beberapa teknik. Validitas e-LKPD dianalisis berdasarkan penilaian para ahli menggunakan skala Likert, kemudian dihitung persentase untuk menentukan tingkat kelayakan produk. Respons siswa terhadap e-LKPD dianalisis dengan menggunakan skala Likert 5 poin dan diklasifikasikan berdasarkan kriteria kepraktisan. Uji validitas dan reliabilitas soal dilakukan menggunakan korelasi point biserial dan rumus *Alpha Cronbach*, suatu soal dikatakan reliabel jika nilai *Alpha Cronbach* lebih dari 0,7. Rumus korelasi point biserial yang digunakan untuk menilai validitas item tes dapat dilihat pada Persamaan (1).

$$r_{pbis} = \frac{M_p - M_t}{S_t}\sqrt{\frac{p}{q}} \quad (1)$$

dengan

r_{pbis}	:	koefisien korelasi poin biserial
M_p	:	skor rata-rata hitung untuk soal yang dijawab benar
M_t	:	skor rata-rata dari skor total
S_t	:	standar deviasi dari skor total
p	:	proporsi siswa menjawab benar pada butir soal yang di uji validitasnya
q	:	Proporsi siswa menjawab salah pada butir soal ($q = 1 - p$)

Hasil perhitungan r_{pbis} kemudian untuk mencari signifikansi (t_{hitung}) dengan Persamaan (2).

$$t_{hitung} = \frac{r_{pbis}\sqrt{n-2}}{\sqrt{1-r_{pbis}}} \quad (2)$$

Setelah dihitung, t_{hitung} dibandingkan dengan t_{tabel} dengan taraf signifikansi 5%. Jika diperoleh $t_{hitung} > t_{tabel}$, maka butir soal dinyatakan valid dengan $d_k = (n - 2)$ dan n adalah jumlah peserta didik.

Untuk mengetahui keefektifan e-LKPD, digunakan uji *n-gain* yang menghitung selisih peningkatan nilai *pre-test* dan *post-test* siswa dengan Persamaan (3).

$$\langle g \rangle = \frac{S_{post} - S_{pre}}{S_m - S_{pre}} \quad (3)$$

Keterangan:

S_{post}	:	rata-rata nilai *post-test*
S_{pre}	:	rata-rata nilai *pre-test*
S_m	:	skor rata-rata dari skor total

Adapun untuk mengetahui kategori atau kriteria nilai hasil uji N-gain digunakan Tabel 1.

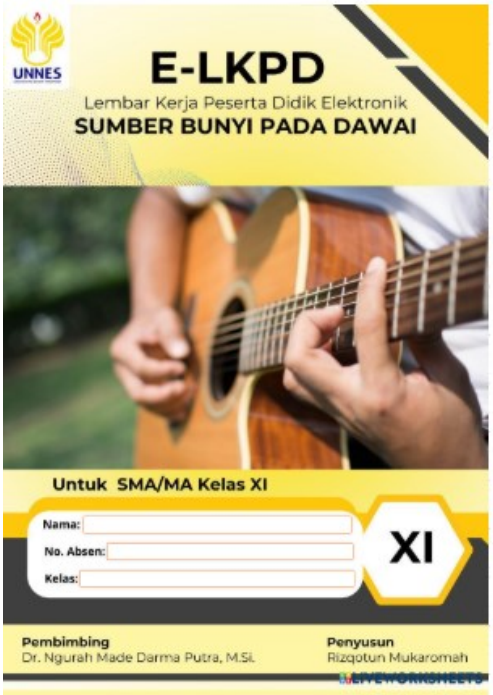
Tabel 1. Kriteria Penilaian Uji N-gain

Nilai	Kriteria
$\langle g \rangle > 0{,}7$	Tinggi
$0{,}3 \leq \langle g \rangle \leq 0{,}7$	Sedang
$\langle g \rangle < 0{,}3$	Rendah

HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Karakteristik E-LKPD Praktikum

Karakteristik e-LKPD praktikum berbasis STEM pada materi gelombang bunyi dengan sub materi sumber bunyi pada dawai yang telah dirancang memiliki karakteristik yang sesuai dengan Kurikulum Merdeka, yang menekankan pada elemen pemahaman dan keterampilan proses. Hal ini sejalan dengan Aditomo *et al.* (2022) yang menyatakan bahwa sebagai bagian dari Kurikulum Merdeka, capaian pembelajaran untuk topik fisika dimulai pada fase E dan berakhir pada fase F. Sasaran pembelajaran fase tersebut untuk fisika meliputi kemampuan pemahaman dan proses fisika. Hasil tampilan halaman judul E-LKPD ini dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Tampilan Halaman Judul E-LKPD yang

E- LKPD ini dibuat menggunakan *Liveworksheets* yang memungkinkan peserta didik untuk mengaksesnya kapanpun dan dimanapun. Sejalan dengan Lestari (2018) yang mengungkapkan mengenai pentingnya peran teknologi digital untuk membantu siswa memperkaya sumber belajar yang dapat diunduh dengan mudah tanpa harus membawa sumber belajar tersebut dalam bentuk cetak karena hanya cukup menyimpannya di *handphone* maka peserta didik sudah dapat belajar dengan mudah dimana saja dan kapan saja. Selain itu, *platform* ini memudahkan guru dalam memberikan umpan balik terhadap jawaban peserta didik, sehingga proses evaluasi pembelajaran menjadi lebih efektif.

Dengan adanya e-LKPD ini, pembelajaran dapat berlangsung lebih interaktif, menarik, serta dapat digunakan secara mandiri oleh peserta didik. Materi yang disajikan dalam e-LKPD terdiri dari teks, gambar, dan video yang dapat diakses dalam satu *platform* tanpa harus berpindah sehingga lebih efisien. E-LKPD yang interaktif dan fleksibel sangat membantu peserta didik dan guru dalam melakukan kegiatan pembelajaran sehingga mampu meningkatkan kualitas pendidikan menjadi lebih baik (Zahroh, 2021). Peserta didik dapat mengisi jawaban dalam kolom yang tersedia dan hasil pekerjaan mereka dapat dinilai langsung oleh pendidik (Sidik & Fahyuni, 2022). Selain itu, pendidik dapat memberikan komentar serta meminta peserta didik untuk melakukan pengerjaan ulang jika nilai yang diperoleh belum memenuhi standar minimal (Rery *et al.*, 2022).

Selaras dengan penelitian Kurniawati & Susatyo (2021) serta Fitriani *et al.* (2017), struktur utama dari e-LKPD praktikum ini terdiri dari beberapa bagian yaitu tujuan pembelajaran, capaian pembelajaran, petunjuk penggunaan e-LKPD, peta konsep, uraian materi, contoh soal, rangkuman, kegiatan praktikum, dan latihan soal. Penyusunan e- LKPD ini berbasis STEM yang mencakup empat aspek utama. Pada aspek sains, e-LKPD menyajikan materi tentang pengertian gelombang bunyi, klasifikasi gelombang bunyi, sumber bunyi pada dawai serta hubungan alat musik dawai dengan ilmu

fisika. Pada aspek teknologi, peserta didik dikenalkan dengan perangkat lunak *GuitarTuna* dan *Audacity* serta cara penggunaannya dalam kegiatan praktikum. Aspek *engineering* dalam e-LKPD diwujudkan melalui perancangan kegiatan praktikum dengan memanfaatkan alat musik gitar akustik dan teknologi pendukung. Sedangkan aspek matematika mencakup analisis hasil pengamatan yang telah diperoleh dari kegiatan praktikum. Pendekatan STEM memungkinkan siswa untuk memahami keterkaitan antara ilmu pengetahuan dan penerapannya di lingkungan sekitar melalui kegiatan membaca dan percobaan ilmiah (Afwina *et al.*, 2021). Melalui e-LKPD berbasis STEM dengan sintaks *guided inkuiri* ini, peserta didik didorong untuk merumuskan masalah berdasarkan video atau permasalahan yang disajikan, menyusun hipotesis, mengumpulkan data, dan menguji hipotesis melalui kegiatan praktikum (Nurdyansyah & Fahyuni, 2016). Setelah melakukan eksperimen, peserta didik diharapkan dapat merumuskan kesimpulan berdasarkan hasil analisis yang telah dilakukan.

Pendekatan ini bertujuan untuk melatih pemahaman peserta didik terhadap materi pokok sumber bunyi pada dawai yang sesuai dengan pendekatan ilmiah. Dengan demikian, e-LKPD yang dikembangkan tidak hanya berkontribusi pada peningkatan aspek kognitif peserta didik tetapi juga berpengaruh pada aspek afektif, sebagaimana dikemukakan oleh Santoso & Mosik (2019). Selain itu, e- LKPD ini juga membantu peserta didik dalam memahami konsep fisika gelombang bunyi serta kaitannya dengan kehidupan sehari-hari (Simatupang *et al.*, 2019).

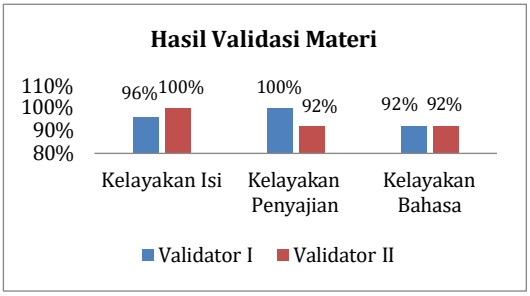
2. Kelayakan E-LKPD Praktikum

Kelayakan e-LKPD praktikum berbasis STEM pada materi gelombang bunyi dengan memanfaatkan alat musik gitar diperoleh dari hasil validasi dosen fisika Universitas Negeri Semarang dan guru fisika SMA Negeri 1 Tahunan. Beberapa komponen validasi kelayakan yaitu komponen materi, media, dan teknologi. Hasil validasi materi ditampilkan dalam Tabel 2.

Tabel 2. Hasil Validasi Ahli Materi

Validator	Jumlah Skor	Kriteria
Validator I	72	Sangat layak
Validator II	71	Sangat layak

Adapun untuk rekapitulasi penilaian setiap aspek materi dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Hasil Validasi Ahli Materi

Secara keseluruhan, aspek materi memperoleh rata-rata skor 95% dari Validator I dan Validator II, yang dikategorikan sangat layak. Hasil penelitian ini selaras dengan Maulani *et al.* (2022) bahwa LKPD sangat layak digunakan untuk meningkatkan pemahaman konsep materi dan pencapaian tujuan pembelajaran. Sehingga dapat dinyatakan dari segi materi (isi), konsep yang disajikan telah sesuai antara materi dengan kompetensi dasar. Materi yang disajikan akurat dalam menyajikan permasalahan yang kontekstual dalam kehidupan nyata (Mairani *et al.*, 2022).

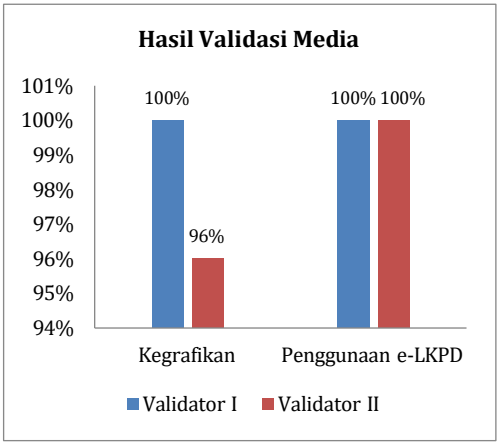
Evaluasi kelayakan komponen media didasarkan pada dua aspek utama yaitu aspek kegrafikan serta pemanfaatan e-LKPD berbasis aplikasi dan *website* (Mairani *et al.*, 2022). Dalam aspek kegrafikan, indikator penilaian mencakup kesesuaian e-LKPD dengan standar ISO, desain tata letak dan tipografi pada *cover* e-LKPD, konsistensi tata letak isi, kemudahan membaca tipografi, serta penyusunan gambar, tabel, dan video secara sistematis

sesuai dengan pokok bahasan guna membantu peserta didik mendalami materi (Dwi Lestari, 2021). Selain itu, tata letak judul, sub judul, serta teks materi diperhatikan agar jelas. Sementara itu, ilustrasi yang digunakan diharapkan mampu memperjelas konsep serta meningkatkan daya tarik (Aini, 2019). Sedangkan dalam aspek penggunaan e-LKPD berbantuan aplikasi dan *website*, indikator yang dinilai mencakup kemudahan serta daya tarik e-LKPD berbasis *website Liveworksheets*, kontribusinya dalam memberikan wawasan baru, kemudahan penggunaan, ketersediaan panduan. Hasil evaluasi kelayakan media e- LKPD praktikum oleh validator ditampilkan pada Tabel 3.

Tabel 3. Hasil Validasi Ahli Media

Validator	Jumlah Skor	Kriteria
Validator I	70	Sangat layak
Validator II	68	Sangat layak

Rekapitulasi hasil penilaian kelayakan media dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Hasil Validasi Ahli Media

Secara keseluruhan, aspek media memperoleh rata-rata nilai 98% yang tergolong dalam kategori sangat layak. Dengan demikian e- LKPD sudah memenuhi syarat teknis yaitu LKPD disusun dengan huruf yang jelas dan mudah dibaca, dilengkapi dengan gambar yang mempermudah penyampaian pesan, serta didesain secara menarik agar peserta didik tertarik untuk mempelajarinya (Hanifah *et al.*, 2023).

Kelayakan komponen teknologi dinilai berdasarkan aspek kemudahan dalam praktikum. Hasil evaluasi kelayakan teknologi e-LKPD praktikum oleh validator ditampilkan pada Tabel 4.

Tabel 4. Hasil Validasi Ahli Teknologi

Validator	Jumlah Skor	Kriteria
Validator I	24	Sangat layak
Validator II	25	Sangat layak

Secara keseluruhan, aspek teknologi memperoleh rata-rata nilai 98% yang termasuk dalam kategori sangat layak. Maka aplikasi dan alat untuk praktikum sangat layak digunakan, salah satunya penggunaan aplikasi *GuitarTuna* dapat menjadi salah satu media yang dapat membantu dalam pembelajaran karena aplikasi ini terdapat di *smartphone* yang fleksibel digunakan dimana saja serta terdapat berbagai fitur seperti *tuner* yang memudahkan dalam penyeteman saat melaksanakan kegiatan praktikum (Fikri & Samino, 2019). Selain itu, penggunaan *software Audacity* juga memudahkan praktikum dalam menentukan besarnya frekuensi secara akurat (Fitriyani & Andryani, 2023).

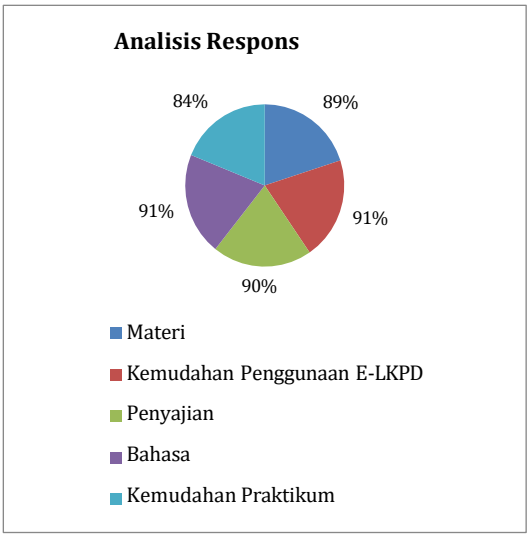
Hasil validasi ahli materi, media, dan teknologi terhadap e-LKPD praktikum berbasis STEM menunjukkan bahwa Validator I memberikan skor sebesar 97,3%, sementara Validator II memberikan skor sebesar 96,6%. Sehingga rata-rata keseluruhan validasi e- LKPD mencapai 96,95% yang dikategorikan sangat layak. Hasil penelitian ini menunjukkan keselarasan dengan temuan yang telah dilaporkan oleh Ariyansah *et al.* (2021) serta Alma *et al.* (2022) yang mengungkapkan bahwa Lembar Kerja Peserta Didik (LKPD) sangat layak digunakan sebagai sarana untuk meningkatkan pemahaman konsep peserta didik. Temuan serupa juga diperoleh dalam

penelitian yang dilakukan oleh Kiswari *et al.* (2022) mengenai pengembangan LKPD berbasis STEM. Hasil penelitian tersebut menunjukkan bahwa LKPD yang dikembangkan memiliki tingkat kelayakan yang tinggi karena memenuhi aspek validitas, kepraktisan, dan keefektifan dalam pembelajaran. Selain itu, penelitian yang dilakukan oleh Sari *et al.* (2022) terkait pengembangan e-LKPD juga mengungkapkan bahwa produk LKPD yang dikembangkan memiliki tingkat validitas yang sangat baik sehingga dapat digunakan sebagai bahan ajar yang sesuai dengan kebutuhan peserta didik.

3. Kepraktisan E-LKPD Praktikum

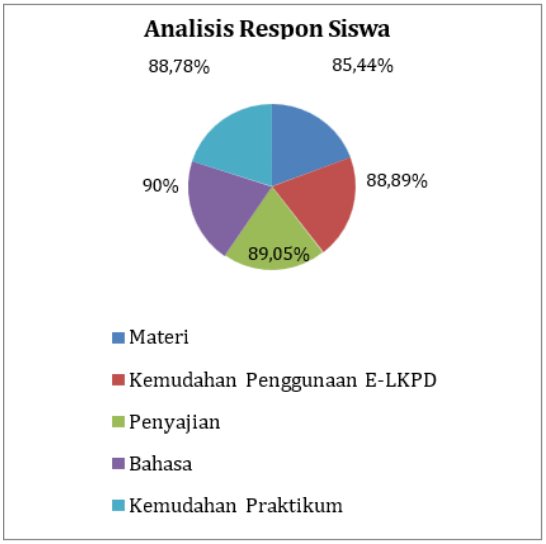
Hasil pengujian terhadap kepraktisan e-LKPD praktikum berbasis STEM pada materi gelombang bunyi menunjukkan bahwa produk ini tergolong sangat praktis untuk digunakan dalam pembelajaran. Tingkat kepraktisan e-LKPD dapat diketahui melalui hasil evaluasi yang dilakukan oleh peserta didik saat mengisi angket respons. Sebelum melakukan uji coba kepada peserta didik, peneliti membagikan angket respons yang disusun dalam format *google form* dan e-LKPD secara daring melalui *WhatsApp* kepada 20 mahasiswa sebagai responsden.

Tujuan dari pengisian angket ini adalah untuk mengetahui reliabilitas instrumen, memberikan saran, serta menilai kepraktisan e-LKPD praktikum berbasis STEM yang dikembangkan. Mahasiswa memberikan rata-rata skor sebesar 111 atau 88,4%, yang masuk dalam kategori sangat praktis. Uji reliabilitas menggunakan *Alpha Cronbach* menghasilkan nilai sebesar 0,901, menunjukkan bahwa instrumen tersebut sangat reliabel (Maulana, 2022). Penilaian terhadap e-LKPD mencakup lima aspek utama, yaitu materi, kemudahan penggunaan, penyajian, bahasa, serta kemudahan dalam pelaksanaan praktikum. Rata-rata hasil penilaian mahasiswa terhadap e-LKPD yang telah dikembangkan ditampilkan pada Gambar 4.



Gambar 4. Analisis Respons Mahasiswa

Setelah dilakukan perbaikan e-LKPD berdasarkan saran mahasiswa dan analisis reliabilitas, kemudian dilakukan uji coba kepada 36 siswa kelas XI-2 SMA Negeri 1 Tahunan. Evaluasi mencakup berbagai aspek seperti kelayakan materi, kemudahan penggunaan, penyajian, kebahasaan, serta kemudahan dalam melakukan praktikum (Anisa *et al.*, 2022). Ringkasan hasil tanggapan peserta didik ditampilkan pada Gambar 5.



Gambar 5. Analisis Respons Siswa

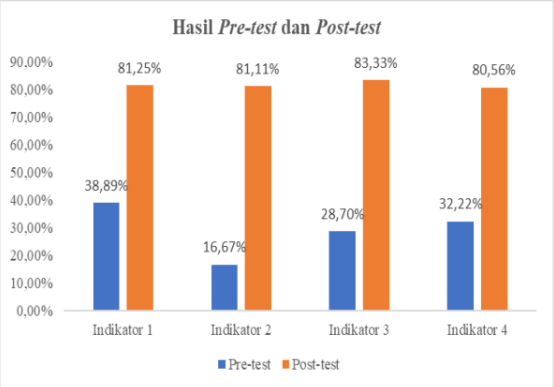
Dari sisi aksesibilitas dan desain tampilan, e-LKPD dibuat dalam format digital interaktif yang dapat diakses melalui laptop maupun *smartphone*. Antarmuka yang sederhana dan responssif memudahkan siswa untuk belajar secara mandiri, terbukti dari skor aspek kemudahan penggunaan sebesar 88,89% (Rosani, 2019).

Selanjutnya, materi dalam e-LKPD disusun sesuai indikator capaian pembelajaran dan menyajikan konsep-konsep gelombang bunyi serta kegiatan praktikum dengan media gitar akustik, yang memperoleh skor kepraktisan sebesar 85,44% (Elissa & Ruslan, 2019). Panduan praktikum yang tersedia dinilai mudah diikuti, dengan skor sebesar 88,78%, karena instruksi eksperimen dirancang dengan pendekatan STEM yang melibatkan pengamatan, analisis data, dan perancangan solusi. Penyajian konten yang sistematis, dimulai dari orientasi hingga refleksi, mendapatkan skor sebesar 89,05%, mencerminkan urutan kegiatan yang logis dan mudah dipahami, mendukung penggunaan strategi inkuiri terbimbing yang meningkatkan keterlibatan siswa dalam pembelajaran (Zammiluni *et al.*, 2018). Selain itu, aspek kebahasaan mendapat skor tertinggi yaitu 90%, menunjukkan bahwa bahasa dalam LKPD disesuaikan dengan tingkat perkembangan kognitif dan emosional peserta didik (Ariq & Fitrihidajati, 2021). Hasil ini menunjukkan bahwa kaidah kebahasaan yang dipergunakan dalam e-LKPD sesuai dengan PUEBI dan mudah dimengerti peserta didik.

Secara keseluruhan, e-LKPD ini terbukti sangat praktis dan layak digunakan dalam proses pembelajaran fisika berbasis STEM yang kontekstual dan menyenangkan. Temuan ini sejalan dengan hasil penelitian Ulfah *et al.* (2023) dan Wiratama & Anriani (2024) yang menyatakan bahwa e-LKPD berbasis STEM mendapat tanggapan positif dari siswa dan mendukung pembelajaran efektif. Namun, terdapat kendala berupa iklan yang muncul karena penggunaan *platform* gratis (non-premium), yang sedikit mengganggu konsentrasi peserta didik saat mengakses konten pembelajaran. Oleh karena itu, pengembangan lebih lanjut disarankan menggunakan *platform* bebas iklan untuk memberikan pengalaman belajar yang lebih optimal.

4. Keefektifan E-LKPD Praktikum

Keefektifan e-LKPD praktikum berbasis STEM pada materi gelombang bunyi ditinjau dari aspek kognitif, afektif, dan psikomotorik menunjukkan hasil yang sangat positif. Keefektifan dalam konteks ini mengacu pada kemampuan LKPD dalam meningkatkan pemahaman konsep, sikap, dan keterampilan peserta didik selama proses pembelajaran (Lusiana & Yohandri, 2020). Penilaian hasil belajar peserta didik dilakukan dengan menganalisis skor *pre-test* dan *post-test*. Pemberian kedua tes ini bertujuan untuk mengukur peningkatan pemahaman peserta didik terhadap materi sumber bunyi pada dawai setelah mengikuti pembelajaran dengan e-LKPD praktikum berbasis STEM yang menggunakan alat musik gitar sebagai media. Hasil analisis *pre-test* dan *post-test* peserta didik kelas XI-2 SMA Negeri 1 Tahunan dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 6. Hasil *Pre-test* dan *Post-test*

Pada indikator pertama, yaitu mengetahui hubungan besaran yang mempengaruhi persamaan dasar cepat rambat gelombang bunyi pada dawai, skor *pre-test* sebesar 38,89% meningkat menjadi

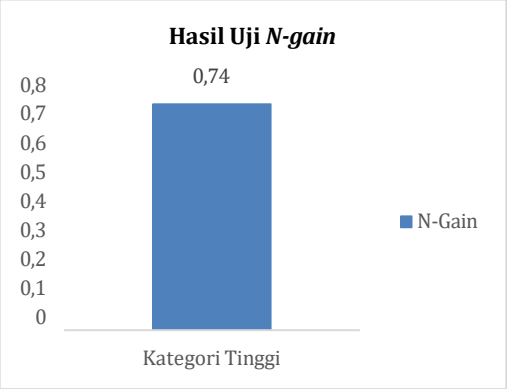
81,25% pada *post- test*. Hal ini menunjukkan bahwa siswa mampu memahami keterkaitan antara massa jenis dawai, luas penampang dawai dan tegangan terhadap cepat rambat gelombang bunyi melalui e-LKPD.

Indikator kedua, yaitu menentukan persamaan cepat rambat gelombang bunyi pada dawai, menunjukkan peningkatan dari 16,67% menjadi 81,11%. Peningkatan ini mencerminkan keefektifan e- LKPD dalam membantu siswa merumuskan persamaan cepat rambat gelombang bunyi pada dawai.

Pada indikator ketiga yaitu menganalisis hubungan besaran yang mempengaruhi frekuensi gelombang bunyi pada dawai terjadi peningkatan dari 28,70% menjadi 83,33%. Capaian ini menunjukkan bahwa e-LKPD berhasil memfasilitasi siswa dalam mengevaluasi pengaruh panjang dawai, tegangan, dan luas penampang dawai terhadap frekuensi. Proses *engineering* dalam integrasi STEM mendorong siswa mencoba berbagai kondisi dan menganalisis hasilnya dengan pendekatan ilmiah.

Indikator keempat, yaitu melakukan kegiatan praktikum untuk mengetahui faktor-faktor yang mempengaruhi frekuensi sumber bunyi pada dawai, skor meningkat dari 32,22% menjadi 80,56%. Hal ini mencerminkan keberhasilan e-LKPD dalam memberikan pengalaman praktis yang bermakna melalui praktikum.

Pemanfaatan alat musik gitar sebagai media membuat eksperimen menjadi lebih kontekstual, menarik, dan mudah dipahami oleh siswa. Peningkatan kompetensi pengetahuan peserta didik dikarenakan LKPD praktikum berbasis STEM yang dikembangkan melalui sintaks *guided inquiry* dapat membantu peserta didik dalam memahami konsep fisika serta membentuk pola kritis dan analisis peserta didik melalui penemuan mandiri jawaban atas masalah atau pertanyaan yang diberikan pendidik dengan menggunakan berbagai sumber informasi (Kurniawan & Syafriani, 2021). Sehingga peserta didik dapat memanfaatkan lingkungan di sekitarnya sebagai sumber belajar (Adiputra, 2016). Hasil belajar siswa mengalami peningkatan signifikan berdasarkan perbandingan hasil *pre-test* dan *post-test*. Rata-rata skor *pre-test* sebesar 5,72 meningkat menjadi 16,33 pada *post-test*. Peningkatan ini dianalisis menggunakan uji *n-gain* yang ditampilkan pada Gambar 7.



Gambar 7. Hasil Uji *N-gain*

Hasil perhitungan menunjukkan bahwa nilai *n- gain* mencapai 0,74 dengan kategori tinggi. Nilai *n-gain* sebesar 0,74 mengindikasikan peningkatan pemahaman yang tinggi. Temuan ini menunjukkan bahwa e-LKPD yang dirancang dengan integrasi pendekatan STEM dengan sintaks *guided inquiry* mampu mengembangkan pemahaman konsep peserta didik secara efektif. Temuan penelitian ini sejalan dengan studi yang dilakukan oleh Salsabilla *et al.* (2024) mengenai pengembangan e-LKPD berbasis STEM yang menunjukkan bahwa rata-rata nilai *pre-test* sebesar 23,07 dan *post-test* mencapai 75,5 serta nilai *n-gain* sebesar 0,68 dengan kategori sedang sehingga membuktikan bahwa e-LKPD dapat membantu meningkatkan keterampilan berpikir kritis. Studi lain yang dilakukan oleh Khoiriyah *et al.* (2023) dalam konteks pengembangan LKPD berbasis STEM juga menunjukkan bahwa nilai *n-gain* sebesar 0,77 mengindikasikan bahwa e-LKPD cukup efektif dalam meningkatkan kemampuan kognitif siswa.

Aspek afektif menitikberatkan pada sikap dan perilaku selama proses

pembelajaran, sedangkan aspek psikomotorik menilai keterampilan siswa (Arifudin & Ulfah, 2021). Sejalan dengan Saftari & Fajriah (2019), penilaian aspek afektif dilakukan melalui empat indikator utama, yaitu disiplin, tanggung jawab, kritis, dan aktif. Hasil observasi menunjukkan bahwa seluruh siswa memperoleh nilai A atau termasuk kategori sangat baik, yang menandakan bahwa pembelajaran dengan e-LKPD memperkuat karakter dan sikap ilmiah siswa (Marliza *et al.*, 2015). Dalam hal kedisiplinan, siswa hadir tepat waktu, tertib selama pembelajaran. Hal ini dimungkinkan karena struktur kegiatan dalam e-LKPD yang sistematis memudahkan siswa mengikuti alur pembelajaran. Tanggung jawab siswa terlihat dari kemampuannya dalam menyelesaikan tugas praktikum dan analisis data dengan baik. Selanjutnya, sikap kritis berkembang melalui penggunaan pendekatan *guided inquiry* yang melatih siswa merumuskan masalah, mengembangkan hipotesis, dan mengevaluasi hasil percobaan. Sementara itu, keaktifan siswa tercermin dari partisipasi dalam diskusi kelompok maupun forum kelas.

Dari sisi psikomotorik, siswa menunjukkan kemampuan baik hingga sangat baik dalam lima indikator: kerja sama, penggunaan alat dan aplikasi, pemecahan masalah, analisis data, dan kesimpulan. Hasil observasi mencatat bahwa 19 siswa berada pada kategori sangat baik dan 17 siswa dalam kategori baik, yang mengindikasikan bahwa hampir seluruh siswa menunjukkan keterampilan praktikum sehingga tujuan pembelajaran fisika dapat dicapai secara optimal (Hikmawati *et al.*, 2019). Dalam praktiknya, siswa bekerja sama secara efektif dalam kelompok, mampu menggunakan aplikasi *GuitarTuna* dan *Audacity* untuk pengumpulan data, serta menyusun kesimpulan secara reflektif. Meskipun demikian, ditemukan kendala pada beberapa siswa yang belum terbiasa menggunakan gitar sebagai media praktikum sehingga memerlukan pendampingan lebih, yang menyebabkan pengambilan data praktikum membutuhkan waktu yang panjang.

SIMPULAN

Berdasarkan penelitian dengan judul "Pengembangan E-LKPD Praktikum Berbasis STEM pada Materi Gelombang Bunyi di Sekolah Menengah dengan Memanfaatkan Alat Musik Gitar" dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. E-LKPD praktikum berbasis STEM yang dikembangkan pada materi gelombang bunyi dengan materi pokok sumber bunyi pada dawai sesuai dengan Kurikulum Merdeka. Menggunakan *platform Liveworksheets*, e-LKPD ini memudahkan akses, interaktivitas, dan evaluasi pembelajaran. Pendekatan STEM diterapkan melalui integrasi konsep fisika, pemanfaatan teknologi, perancangan praktikum dengan gitar akustik, serta analisis data.
2. E-LKPD praktikum berbasis STEM pada materi gelombang bunyi dengan memanfaatkan alat musik gitar tergolong sangat layak dengan rata-rata skor keseluruhan 96,95%. Penilaian berdasarkan aspek materi (95%), media (98%), dan teknologi (98%) menunjukkan bahwa e-LKPD ini memiliki isi dan penyajian yang menarik, serta kemudahan penggunaan dalam praktikum.
3. E-LKPD praktikum berbasis STEM pada materi gelombang bunyi dengan memanfaatkan alat musik gitar dinilai sangat praktis dengan skor rata-rata 88,4% oleh peserta

didik.

4. E-LKPD praktikum berbasis STEM pada materi gelombang bunyi dengan memanfaatkan alat musik gitar efektif digunakan dalam pembelajaran. Hal ini dibuktikan dengan peningkatan rata-rata skor *pre-test* dari 5,72 menjadi 16,33 pada *post-test*, dengan 91,6% peserta didik mencapai KKM. Uji *n-gain* sebesar 0,74 menunjukkan kategori tinggi.

DAFTAR PUSTAKA

Adiputra, D. K. (2016). Pengaruh metode pembelajaran inkuiri terbimbing dan keterampilan proses sains terhadap hasil belajar siswa. *Jurnal Teknologi Pendidikan dan Pembelajaran*, 3(1), 12–21.

Aditomo, A., Muhammad, H., & Suryani, N. (2022). *Capaian Pembelajaran Mata Pelajaran Fisika Fase E - Fase F untuk SMA/MA/Program Paket C*. Badan Standar, Kurikulum, dan Asesmen Pendidikan.

Afifah Noor, Y., Prasetya Aji, M., & Astuti, B. (2020). Analisis frekuensi gitar menggunakan smartphone. *Seminar Nasional Pascasarjana Universitas Negeri Semarang*, 378– 383.

Afwina, D., Dwi, P. A., & Budiarso, A. (2021). Pengembangan modul berbasis STEM (Science, Technology, Engineering, and Mathematics) pokok bahasan alat-alat optik dalam pembelajaran IPA di SMP. *Jurnal Literasi Pendidikan Fisika*, 2(2), 126–131. http://jurnal. fkip.unmul.ac.id/index.php/JLPF

Aini, N. A. (2019). Pengembangan LKPD Berbasis Problem based learning pada mata pelajaran IPA materi gaya. *Jurnal Pendidikan Dasar*, 10(1), 68– 76. https://doi.org/10.2 1009/JPD.010.07

Alma, W., Putri, S., Hakim, L., & Sulistyowati, R. (2022). Pengembangan e-LKPD materi efek doppler berbasis inkuiri terbimbing berbantuan aplikasi Phyphox untuk meningkatkan pemahaman konsep fisika. *Jurnal Hasil Kajian, Inovasi, dan Aplikasi Pendidikan Fisika,* 8(1), 15-20.

Anisa, M. K., Permana, N. D., & Diniya. (2022). Development of Liveworksheet LKPD based on problem based learning on light materials. *Jurnal Riset Fisika Edukasi dan Sains*, 9(1), 16–28. https://doi .org/10.22202/jrfes.20 22.v9i1.5695

Arifudin, & Ulfah. (2021). Pengaruh aspek kognitif, afektif, dan psikomotorik terhadap hasil belajar peserta didik. *Jurnal Al-Amar*, 2(1), 1–9.

Ariq, M., & Fitrihidajati, H. (2021). Validitas E- LKPD ekosistem berbasis saintifik untuk melatih keterampilan berpikir kritis siswa kelas X SMA. *Jurnal Berkala Ilmiah Pendidikan Biologi*, 10(3), 562–571. https://doi. org/10.26740/bioedu. v10n3.p562-571

Ariyansah, D., Hakim, L., & Sulistyowati, R. (2021). Pengembangan e-LKPD praktikum fisika pada materi gerak harmonik sederhana berbantuan aplikasi Phyphox untuk meningkatkan pemahaman konsep peserta didik. *Jurnal Penelitian Pembelajaran Fisika*, *12*(2), 173–181. https://doi.org/10.26877/jp2f.v12 i2.9052

Arrohman, D. A., Wahyuni, A. L. E., Wilujeng, I., & Suyanta, S. (2022). Implementasi penggunaan LKPD pencemaran air berbasis STEM dan model *learning cycle* 6e terhadap kemampuan literasi sains. *Jurnal Pendidikan Sains Indonesia*, *10*(2), 279–293. https://doi.org/10.24815/ jpsi.v10 i2.23584

Banarsari, A., Nurfadilah, D. R., & Akmal, A. Z. (2023). Pemanfaatan Teknologi Pendidikan pada Abad 21. *Social, Humanities, and Educational Studies (SHES): Conference Series*, 6(1), 459-464. https://doi.org/10.20961/ shes.v6i 1.71152

Bektiarso, S., Mahardika, K., Fikri, M., Fatimah, U., & Najah, S. (2023). Analisis konsep fisika pada alat musik rebana. *Jurnal Ilmiah Wahana Pendidikan*, 9(2), 569–574. https://jurnal.peneliti.net/index.php/JIWP/Editorial-Board

Branch, R. M. (2010). *Instructional Design: The ADDIE Approach*. Springer US. https://doi.org/10.1007/978-0-387-09506-6

Dwi Lestari, D. (2021). E-LKPD berorientasi *contextual teaching and learning* untuk melatihkan keterampilan berpikir kritis siswa pada materi termokimia. *Jurnal Pendidikan Kimia Indonesia*, 5(1), 25–33. https://ejournal.undiksha.ac.id/in dex.php/JPK/index

Elissa, R. A., & Ruslan, D. (2019). Development of student worksheets-PBL improve students critical thinking ability. *Social Science, Education, and Humanities Journal*, 384, 202–205.

Fikri, K., & Samino. (2019). Pemanfaatan Smartphone Android sebagai Media Pembelajaran Gitar di Era Industri 4.0. *Jurnal Ilmiah Pendidikan Citra Bakti*, *6*(2), 210–219. https://doi.org/10.5281/zenodo.3551980

Fitriani, W., Bakri, F., & Sunaryo. (2017). Pengembangan lembar kerja siswa (LKS) fisika untuk melatih kemampuan berpikir tingkat tinggi (high order thinking skill) siswa SMA. *Jurnal Wahana Pendidikan Fisika*, 2(1), 36–42. https://doi.org/10.17509/wapfi.v2i1.4901

Fitriyani, A. O., & Andryani, F. (2023). Analisis akurasi penerapan software audacity dalam menentukan nilai frekuensi pada praktikum pipa organa. *Jurnal Inovasi Penelitian dan Pembelajaran Fisika*, *4*(1), 24–29. https://doi.org/10.26418/jippf.v4i1.60581

Giancoli, D. C. (2001). Fisika. In Y. Hanum (Ed.), *Fisika* (5th ed.). Jakarta: Erlangga.

Hanifah, Djumhana, N., & Saefudin, A. (2023). Rancangan lembar kerja peserta didik (LKPD) berbasis pendekatan saintifik untuk meningkatkan pemahaman konsep IPA kelas V di sekolah dasar. *Jurnal Pendidikan Guru Sekolah Dasar*, *8*(2), 71–80.

Herawati, E. P., Gulo, F., & Hartono, H. (2016). Pengembangan lembar kerja peserta didik (LKPD) interaktif untuk pembelajaran konsep mol di kelas X SMA. *Jurnal Penelitian Pendidikan Kimia*, 3, 168–178. https://api.semanticscholar.org/CorpusID:201265733

Hikmawati, Kusmiyati, & Sutrio. (2019). Keterampilan psikomotor siswa dalam melakukan kegiatan percobaan tentang suhu dan kalor menggunakan media tiga dimensi dan simulator komputer. *Jurnal Penelitian dan Pembelajaran Fisika Indonesia*, 1(1), 1–5.

Hurrahma, M., & Sylvia, I. (2022). Efektivitas e-LKPD berbasis liveworksheet dalam meningkatkan hasil belajar sosiologi peserta didik di kelas XI IPS SMA N 5 Padang. *Sikola: Jurnal Kajian Pendidikan dan Pembelajaran*, 4(1), 14–22. https://doi.org/10.24036/nara.v1i3.193

Khoiriyah, A., Trisnowati, E., & Singgih, S. (2023). Pengembangan lembar kerja peserta didik berbasis STEM untuk meningkatkan hasil belajar kognitif peserta didik. *Jurnal Penelitian Sains dan Pendidikan*, 3, 120–132.

Kiswari, L., Singgih, S., & Muhlisin, A. (2022). STEM-based LKPD development and contextual problems to improve explanation, concluding, and evaluating skills. *Phenomenon: Jurnal Pendidikan MIPA*, 12(2), 140–157.

Kurniawan, & Syafriani. (2021). Praktikalitas dan efektivitas penggunaan e-modul fisika SMA berbasis *guided inquiry* terintegrasi etnosains untuk meningkatkan berpikir kritis peserta didik. *Jurnal Eksakta Pendidikan*, 5(2), 135–141. https://doi.org/10.24036/jep/vol5-iss2/572

Kurniawati, A., & Susatyo, E. (2021). Desain lembar kerja peserta didik (LKPD) praktikum berbasis inkuiri terbimbing pada materi hidrolisis garam. *Jurnal Inovasi Pendidikan Kimia*, 15(2), 2802–2812.

Lestari, S. (2018). Peran Teknologi dalam Pendidikan di Era Globalisasi. *Jurnal Pendidikan Agama Islam*, *2*(2), 94–100. https://ejournal.unuja .ac.id/index. php/edureligia

Lusiana, & Yohandri. (2020). efektivitas penggunaan lembar kerja peserta didik (LKPD) berbasis model *project based learning* berbantuan aplikasi tracker dengan pendekatan saintifik pada materi gerak harmonis sederhana. *Jurnal Penelitian dan Pembelajaran Fisika*, 6(2), 155–161.

Mairani, U., Enawaty, E., & Putra Sartika, R. (2022). Pengembangan lembar kerja peserta didik elektronik (e- LKPD) berbasis *problem based learning* (PBL) pada materi hidrokarbon. *Jurnal Education and Development*, 10(3), 117–121.

Maisyaroh, & Supahar. (2020). Development of sound wave experimentation tools influenced by wind velocity. *Journal of Physics: Conference Series*, 1440(1), 1–4. https://doi.org/10.1088/1742-6596 /1440/1/012021

Marliza, Yusrizal, & Abdullah. (2015). Pengembangan instrumen penilaian afektif untuk mengukur sikap siswa terhadap nilai atau norma yang berhubungan dengan materi keanekaragaman hayati indonesia. *Jurnal Biotik*, *3*(2), 89–99.

Maulana, A. (2022). Analisis validitas, reliabilitas, dan kelayakan instrumen penilaian rasa percaya diri siswa. *Jurnal Kualita Pendidikan*, 3(3), 2774–2156.

Maulani, J., Kelana, J. B., & Jayadinata, A. K. (2022). Pengembangan LKPD berbantuan Liveworksheet untuk meningkatkan pemahaman konsep IPA siswa kelas IV SD. *Jurnal Profesi Pendidikan*, 1(2), 106–123. https:// doi.org/10.22460/jpp.v1i2.11613

Mulyani, T. (2019). Pendekatan pembelajaran STEM untuk menghadapi revolusi industry 4.0. *Seminar Nasional Pascasarjana Universitas Negeri Semarang*, 453–460.

Nurdyansyah, & Fahyuni. (2016). *Model Pembelajaran Inovatif* (1st ed.). Nizamial Learning Center.

Rery, U., Herdini, & Marinsi, D. (2022). Pengembangan e-LKPD berbasis *attention, relevance, confidence, and satisfaction* menggunakan Liveworksheets pada materi kesetimbangan ion. *Jurnal Kependidikan Kimia*, 10(2), 89–97. http://ojs.undikma.ac.id/index.php/h ydrogen/

Rizkika, M., Dwi, P., & Ahmad, N. (2022). Pengembangan e-LKPD Berbasis STEM pada Materi tekanan zat untuk meningkatkan kemampuan berpikir kritis siswa SMP. *Pancasakti Science Education Journal*, 7(1), 41–48. https://doi.org/ 10.4905/psej.v7i1. 142

Rosani, H. I. (2019). Pengembangan lembar kegiatan peserta didik (LKPD) praktikum akuntansi lembaga berbasis *critical thinking ability* pada kelas XI Akuntansi SMK. *Jurnal Pendidikan Akuntansi*, 7(3), 499–505.

Saftari, & Fajriah. (2019). Penilaian ranah afektif dalam bentuk penilaian skala sikap untuk menilai hasil belajar. *Jurnal Ilmu Pendidikan dan Kependidikan*, 7(1), 71-81.

Salsabilla, A., Kaniawati, I., & Liliawati, W.

(2024). Development of e-LKPD based on STEM to enhance students' critical thinking skills on topic of renewable energy. *Jurnal Pendidikan Fisika dan Teknologi*, *10*(1), 221–232. https://doi.org/10.29303/jpft.v 10i 1.7016

Santoso, S., & Mosik. (2019). Keefektifan LKS berbasis STEM (*Science, Technology, Engineering and Mathematic*) untuk melatih keterampilan berpikir kritis siswa pada pembelajaran fisika SMA. *Unnes Physics Education Journal*, 8(3), 249–253.

Sari, D. N. I., Budiarso, A. S., & Wahyuni, S. (2022). Pengembangan e-LKPD berbasis *problem based learning* (PBL) untuk meningkatkan kemampuan *higher order thinking* skill (HOTS) pada pembelajaran IPA. *Jurnal Basicedu*, *6*(3), 3699–3712. https://doi.org/10.31004/basicedu.v 6i3.2691

Sidik, M. F., & Fahyuni, E. F. (2022). Development of a digital live worksheet in the religion subject to improve student learning outcomes at junior high school. *Academia Open*, 6, 6–11. https://doi .org/10.21070/acopen. 6.2022.2247

Silka, & Bethony, F. (2022). Analisis lembar kerja peserta didik (LKPD) praktikum fisika di SMA Negeri Kabupaten Toraja Utara. *Jurnal Penelitian Pembelajaran Fisika*, 13(2), 243–250. https://doi.org/10.2 6877/jp2f.v13 i2.12868

Simatupang, H., Sianturi, A., & Alwardah, N. (2019). Pengembangan LKPD berbasis pendekatan science, technology, engineering, and mathematics (STEM) untuk menumbuhkan keterampilan berpikir kritis siswa. *Jurnal Pelita Pendidikan*, 7(4), 170–177. https:// jurnal.unimed.ac.id/2012/index.php/ pelita/index

Solehah, F., Sumo, M., Farhan Fuad, M., & Alamsyah Hidayat, F. (2024). Analisis percobaan Melde dalam pembelajaran fisika untuk menentukan gelombang pada dawai: Studi literatur. *Mutiara Jurnal Ilmiah Multidisiplin Indonesia*, *2*(3), 139–158.

Sugiyono. (2012). *Metode Penelitian Kuantitatif Kualiatif dan R&D* (19th ed.). Alfabeta Bandung.

Trianggono, M. M. (2017). Analisis kausalitas pemahaman konsep dengan kemampuan berpikir kreatif siswa pada pemecahan masalah fisika. *Jurnal Pendidikan Fisika dan Keilmuan*, 3, 1–12.

Ulfah, R., Syarif, R., Prasetyo, E., & Donuata, P. B. (2023). Development of STEM integrated LKPD to improve the critical thinking ability of class X students. *EduMatika: Jurnal MIPA*, 3(2), 31–36. https://d oi.org/10.30596/jcositte. v1i1.xxxx

Wahyudin, D., Subkhan, E., Malik, A., Sudiapermana, E., Alhapip, L., & Anggraena, Y. (2024). *Kajian Akademik Kurikulum Merdeka* (1st ed.). Badan Standar, Kurikulum, dan Asesmen Pendidikan.

Waluyo, K. A., Noviandini, D., & Sudjito, D. N. (2016). Konser fisika: Pembelajaran fisika dengan mengintegrasikan seni musik menggunakan gitar akustik, zelscope, dan lagu fisika pada materi bunyi. *Unnes Physics Education Journal*, 5(1), 1–11. http://journal.unnes.ac.id/sju/index. php/upej

Wiratama, N., & Anriani, N. (2024). Pengembangan E-LKPD berbasis STEM dengan menggunakan Wizer.me untuk Mendukung Kemampuan Berpikir Kritis Siswa. *Jurnal Inovasi dan Riset Pendidikan Matematika*, 5(4), 369–377. http://w ww.jurnal.untirta.ac.id/index.php/wil angan

Zahroh. (2021). Pengembangan e-LKPD berbasis literasi sains untuk melatihkan keterampilan berpikir kritis peserta didik pada materi pertumbuhan dan perkembangan.

Jurnal Berkala Ilmiah Pendidikan Biologi, 10(3), 605–616.

Zammiluni, Ulianas, A., & Mawardi, M. (2018). Development of guided inquiry based work sheet with class and laboratory activity on chemical bonding topic in senior high school. *International Journal of Chemistry Education Research*, 2(2), 60–66. https://doi.org/10.20885/ijcer.vol2.iss2.art1