

Pengembangan E-LKPD Berbasis Video Eksperimen dan Laboratorium Virtual untuk Melatihkan Keterampilan Proses Sains Siswa pada Materi Gerak Harmonik Sederhana

Syah Warunadwipa Andiantosa, Sarah Miriam, Saiyidah Mahtari*

Universitas Lambung Mangkurat, Banjarmasin, Indonesia

Received: October 2024

Revised: October 2024

Published: November 2024

Corresponding Author:

Name*: Saiyidah Mahtari

Email*: saiyidah_pfis@ulm.ac.id



<https://doi.org/10.36312/mj.v3i2.2308>

© 2024 The Author/s. This is an open-access article under the CC-BY-SA License.



Abstract: Keterampilan proses sains (KPS) siswa pada materi gerak harmonik sederhana sering kali rendah akibat keterbatasan kegiatan praktikum dan kurangnya fasilitas laboratorium. Penelitian ini bertujuan mengembangkan E-LKPD berbasis video eksperimen dan laboratorium virtual yang dapat digunakan sebagai media pembelajaran untuk melatihkan KPS siswa secara efektif. Penelitian ini menggunakan model pengembangan ADDIE (Analyze, Design, Develop, Implement, Evaluate), dengan subjek penelitian adalah 22 siswa kelas X MIPA di SMA Negeri 12 Banjarmasin. Instrumen penelitian meliputi lembar validitas, angket kepraktisan, dan tes hasil belajar. Hasil validasi menunjukkan E-LKPD ini sangat valid pada aspek didaktik, konstruksi, dan keterampilan proses sains. Dari angket kepraktisan, E-LKPD dinilai praktis dengan rata-rata skor 70,31%, menunjukkan bahwa media ini mudah digunakan dan menarik bagi siswa. Efektivitas E-LKPD ini juga dibuktikan melalui peningkatan keterampilan proses sains siswa dengan skor N-gain sebesar 0,53 (kategori sedang). Integrasi video eksperimen dan laboratorium virtual dalam E-LKPD ini membantu siswa memahami konsep fisika dan melatih keterampilan proses sains secara mandiri. E-LKPD ini direkomendasikan sebagai alternatif pembelajaran interaktif untuk meningkatkan kompetensi sains siswa pada topik-topik yang memerlukan visualisasi konsep abstrak.

Kata kunci: E-LKPD, keterampilan proses sains, video eksperimen, laboratorium virtual, gerak harmonik sederhana

Development of E-Worksheet Based on Experimental Videos and Virtual Laboratories to Train Students' Science Process Skills in Simple Harmonic Motion

Abstract: Students' science process skills (SPS) in simple harmonic motion are often low due to limitations in laboratory practice and inadequate laboratory facilities. This study aims to develop an E-worksheet (E-LKPD) based on experimental videos and virtual laboratories that can effectively train students' SPS in physics. The research follows the ADDIE model (Analyze, Design, Develop, Implement, Evaluate), with 22 tenth-grade students in SMA Negeri 12 Banjarmasin as research subjects. Research instruments included validation sheets, practicality questionnaires, and learning outcome tests. Validation results show that the E-LKPD is highly valid in didactic, construction, and science process skills aspects. Practicality scores averaged 70.31%, indicating that students found the E-LKPD easy to use and engaging. The effectiveness was demonstrated by an increase in SPS, with an N-gain score of 0.53 (moderate category). The integration of experimental videos and virtual laboratories in this E-LKPD aids students in understanding physics concepts and independently enhancing their science process skills. This E-LKPD is recommended as an interactive learning tool to improve students' science competence in topics requiring visualization of abstract concepts.

Keywords: E-worksheet, science process skills, experimental video, virtual laboratory, simple harmonic motion

How to Cite:

Andiantosa, S. W., Miriam, S., & Mahtari, S. (2024). Pengembangan E-LKPD Berbasis Video Eksperimen dan Laboratorium Virtual untuk Melatihkan Keterampilan Proses Sains Siswa pada Materi Gerak Harmonik Sederhana. *Multi Discere Journal*, 3(2), 97-111. <https://doi.org/10.36312/mj.v3i2.2308>

PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi informasi dan komunikasi (TIK) telah memberikan dampak signifikan pada berbagai bidang, termasuk pendidikan. Berdasarkan data International Telecommunication Union (2022), saat ini 86 dari 100 orang memiliki akses ke perangkat digital, seperti ponsel pintar, yang mempermudah akses informasi kapan saja dan di mana saja. Teknologi ini menciptakan peluang besar untuk meningkatkan keterampilan proses sains melalui pendekatan pembelajaran yang lebih interaktif dan adaptif, yang mendukung siswa dalam memahami dan menerapkan konsep-konsep sains secara mendalam (Nirmala & Darmawati, 2021). Pembelajaran berbasis teknologi ini, khususnya melalui media daring, telah berkembang dengan pesat, memungkinkan tersedianya berbagai sumber pembelajaran, termasuk perpustakaan digital, video pembelajaran, dan laboratorium virtual. Hal ini menawarkan potensi besar dalam memperkaya pengalaman belajar siswa, baik dalam meningkatkan pemahaman maupun keterampilan berpikir kritis (Gunawan et al., 2019).

Dalam konteks pendidikan sains, pengembangan keterampilan proses sains menjadi tujuan utama, melibatkan kemampuan berpikir kritis, pemecahan masalah, dan penerapan konsep-konsep ilmiah dalam situasi nyata. Keterampilan ini tidak hanya mencakup aspek kognitif, tetapi juga mencakup keterampilan analitis dan praktis yang krusial dalam pengembangan pemahaman siswa. Proses pembelajaran ini idealnya didukung oleh penggunaan Lembar Kerja Peserta Didik (LKPD) yang dilengkapi aktivitas praktikum atau eksperimen langsung di laboratorium untuk melatih siswa dalam menjalankan prosedur ilmiah yang relevan (Prasasti, 2018). Namun, banyak sekolah menghadapi kendala dalam menyediakan fasilitas laboratorium yang memadai akibat keterbatasan anggaran, tenaga ahli, dan peralatan praktikum yang layak. Dalam situasi ini, pemanfaatan teknologi seperti laboratorium virtual dan video eksperimen memberikan alternatif yang relevan dan praktis, terutama bagi sekolah-sekolah yang tidak memiliki fasilitas laboratorium lengkap (Putri et al., 2021).

Pentingnya keterampilan proses sains ini semakin menonjol selama pandemi COVID-19, yang mempercepat transisi pembelajaran daring di seluruh dunia. Berdasarkan studi awal yang dilakukan di SMA Negeri 12 Banjarmasin, ditemukan bahwa keterampilan proses sains siswa masih sangat rendah, terlihat dari hasil wawancara dengan guru fisika yang mengungkapkan bahwa siswa hanya memanfaatkan grup WhatsApp untuk komunikasi terkait materi pelajaran. Sementara itu, kegiatan praktikum semakin terbatas, khususnya pada materi fisika seperti vektor, gerak lurus beraturan (GLB), dan gerak lurus berubah beraturan (GLBB). Keterbatasan fasilitas ini menyebabkan menurunnya kemampuan siswa dalam mengikuti prosedur laboratorium yang baik, yang berdampak pada rendahnya pemahaman konsep dan keterampilan sains dasar siswa. Hal ini diperparah oleh kurangnya akses terhadap LKPD praktikum yang mendukung kegiatan eksperimen. Kondisi ini semakin menegaskan pentingnya penelitian yang mengeksplorasi penggunaan teknologi pendidikan, seperti laboratorium virtual dan video eksperimen, untuk mengisi kesenjangan dalam pembelajaran sains selama masa pembelajaran daring (Karanggulmu et al., 2021).

Laboratorium virtual berperan penting sebagai alternatif media pembelajaran yang dapat memberikan pengalaman praktikum bagi siswa dalam lingkungan daring. Laboratorium virtual memungkinkan siswa untuk mengamati dan berinteraksi dengan data atau fenomena ilmiah dalam situasi yang aman dan fleksibel, serta dapat diakses kapan saja dan di mana saja. Dengan laboratorium virtual, siswa dapat mengeksplorasi berbagai konsep sains, melakukan manipulasi variabel secara mandiri, dan menemukan pola-pola ilmiah yang berkaitan dengan materi pelajaran. Hal ini selaras dengan temuan Verawati (2023) yang menunjukkan bahwa penggunaan laboratorium virtual dapat meningkatkan keterampilan berpikir analitis dan kritis, yang sangat

penting dalam pembelajaran fisika. Sementara itu, penggunaan video eksperimen memungkinkan siswa untuk mengikuti langkah-langkah prosedur percobaan secara lebih visual, membantu mereka memahami dan menerapkan prosedur praktikum dalam situasi nyata. Video eksperimen ini juga memungkinkan siswa untuk belajar secara mandiri, bahkan di luar kelas, serta meningkatkan keterampilan observasi dan analisis yang penting dalam pengembangan keterampilan proses sains (Ilsa et al., 2020).

Meskipun beberapa penelitian sebelumnya telah mengeksplorasi efektivitas laboratorium virtual dalam mendukung pembelajaran sains, sebagian besar masih terbatas pada penggunaan laboratorium virtual sebagai media pembelajaran tanpa integrasi video eksperimen. Padahal, video eksperimen dapat memberikan panduan praktikum yang mendetail dan menjembatani kesenjangan antara teori dan aplikasi praktis. Integrasi video eksperimen dengan laboratorium virtual dalam satu LKPD memiliki potensi yang besar untuk meningkatkan keterampilan proses sains siswa secara efektif dan efisien (Sutarno et al., 2023). Dengan video eksperimen, siswa dapat memahami langkah-langkah percobaan secara visual sebelum melakukan praktik langsung di laboratorium virtual, sehingga memperkuat pemahaman konsep yang mendasari percobaan dan memperbaiki keterampilan prosedural mereka.

Penelitian ini berfokus pada pengembangan LKPD elektronik (E-LKPD) yang terintegrasi dengan video eksperimen dan laboratorium virtual pada topik gerak harmonik sederhana. Berbeda dengan penelitian sebelumnya, pendekatan yang digunakan dalam penelitian ini menawarkan metode terpadu yang menggabungkan laboratorium virtual dengan video eksperimen sebagai media interaktif dalam melatih keterampilan proses sains. Melalui integrasi ini, diharapkan bahwa siswa dapat mengembangkan keterampilan berpikir kritis dan analitis yang diperlukan untuk menganalisis fenomena fisika secara lebih mendalam. Beberapa keterampilan proses sains yang ditargetkan dalam penelitian ini meliputi kemampuan untuk mengamati, merumuskan hipotesis, mengendalikan variabel, menginterpretasi data, dan menyusun kesimpulan.

Selain itu, penelitian ini juga menggunakan model pengembangan ADDIE (Analyze, Design, Develop, Implement, Evaluate) untuk memastikan E-LKPD yang dihasilkan memiliki validitas, kepraktisan, dan efektivitas yang tinggi dalam melatih keterampilan proses sains siswa (Ramadhani et al., 2020). Model ADDIE dipilih karena menyediakan pendekatan sistematis dalam pengembangan produk pendidikan yang berkualitas, memungkinkan pengujian dan evaluasi pada setiap tahap untuk meningkatkan kualitas produk akhir.

Berdasarkan paparan di atas, penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan E-LKPD gerak harmonik sederhana yang terintegrasi dengan video eksperimen dan laboratorium virtual serta mengevaluasi kelayakannya dalam melatih keterampilan proses sains siswa. Penelitian ini akan menilai aspek validitas, kepraktisan, dan efektivitas dari E-LKPD yang dihasilkan melalui uji coba pada siswa SMA Negeri 12 Banjarmasin, di mana hasil yang diharapkan adalah meningkatnya keterampilan proses sains siswa, khususnya dalam hal pemahaman prosedur praktikum, kemampuan analitis, dan penguasaan konsep ilmiah pada materi gerak harmonik sederhana.

METODE

Jenis Penelitian

Penelitian ini menggunakan metode pengembangan berbasis model ADDIE (Analyze, Design, Develop, Implement, Evaluate), yang merupakan metode sistematis dalam pengembangan perangkat pembelajaran untuk memastikan efektivitas produk. Model ini diterapkan untuk menghasilkan E-LKPD yang terintegrasi dengan video eksperimen dan laboratorium virtual dalam melatih keterampilan proses sains siswa pada topik gerak harmonik sederhana.

Desain Penelitian

Pendekatan model ADDIE (Tabel 1) dalam penelitian ini mencakup lima tahapan, yaitu analisis, desain, pengembangan, implementasi, dan evaluasi. Tahapan analisis mengidentifikasi kebutuhan pembelajaran dan keterampilan proses sains siswa, sementara tahapan desain berfokus pada pengembangan struktur dan konten E-LKPD. Tahap pengembangan melibatkan pembuatan produk E-LKPD yang mencakup video eksperimen dan simulasi laboratorium virtual. Selanjutnya, implementasi dilakukan di kelas eksperimen untuk melihat kepraktisan dan efektivitas produk, yang kemudian dievaluasi berdasarkan hasil observasi, angket siswa, dan tes hasil belajar.

Tabel 1. Tahapan Penelitian dengan Model ADDIE

Tahap	Deskripsi
Analisis	Mengidentifikasi kebutuhan siswa dalam materi gerak harmonik sederhana dan keterampilan proses sains.
Desain	Merancang E-LKPD yang mencakup video eksperimen dan laboratorium virtual sebagai alat bantu pembelajaran.
Pengembangan	Mengembangkan konten, video, dan instruksi dalam E-LKPD; validasi awal oleh pakar pendidikan dan praktisi.
Implementasi	Menerapkan E-LKPD di kelas eksperimen, mengumpulkan data melalui angket kepraktisan dan hasil observasi.
Evaluasi	Menganalisis data untuk menilai validitas, kepraktisan, dan efektivitas produk dalam meningkatkan keterampilan proses sains.

Sampel dan Demografi Partisipan

Penelitian ini dilakukan pada siswa kelas X MIPA 2 SMA Negeri 12 Banjarmasin, dengan 22 siswa sebagai subjek penelitian. Pemilihan sampel dilakukan secara purposive, mempertimbangkan keterkaitan materi yang sesuai dengan pembelajaran gerak harmonik sederhana. Data demografis siswa (Tabel 2), seperti jenis kelamin dan prestasi akademik sebelumnya, dicatat untuk memastikan keterwakilan sampel secara menyeluruh.

Tabel 2. Profil Demografi Partisipan

Kategori	Jumlah	Persentase (%)
Jenis Kelamin		
Laki-laki	12	54.55%
Perempuan	10	45.45%
Prestasi Akademik		
Baik	14	63.64%
Cukup	8	36.36%

Instrumen Penelitian

Penelitian ini menggunakan beberapa instrumen, yaitu lembar validitas, angket kepraktisan, tes hasil belajar, dan lembar observasi keterampilan proses sains. Instrumen validitas berfungsi untuk mengevaluasi aspek didaktik, konstruksi, dan teknis dari E-LKPD yang dikembangkan, yang dinilai oleh dua validator ahli dan satu validator praktisi. Lembar angket diberikan kepada siswa untuk mengukur tingkat kepraktisan E-LKPD berdasarkan kemenarikan, kemudahan penggunaan, dan kelengkapan isi.

Instrumen tes hasil belajar digunakan untuk mengukur pemahaman kognitif siswa pada materi gerak harmonik sederhana, sedangkan lembar observasi keterampilan proses sains mencakup indikator keterampilan mengobservasi, merumuskan hipotesis, mengendalikan variabel, menganalisis data, dan menyusun kesimpulan. Instrumen ini memiliki koefisien reliabilitas 0.61 berdasarkan Cronbach's Alpha, yang menunjukkan kategori tinggi.

Tabel 3. Jenis Instrumen Penelitian dan Tujuan

Instrumen	Deskripsi	Tujuan
Lembar	Evaluasi aspek didaktik, konstruksi, teknis, keterampilan sains dan video eksperimen.	Menilai kesesuaian konten dan efektivitas pembelajaran
Validitas		
Angket	Angket kepada siswa mengenai daya tarik, kemudahan, dan kelengkapan E-LKPD.	Menentukan kepraktisan E-LKPD bagi siswa
Kepraktisan		
Tes Hasil	Soal esai untuk mengukur pemahaman konsep pada gerak harmonik sederhana.	Mengukur peningkatan kognitif siswa
Belajar		
Observasi KPS	Lembar penilaian keterampilan proses sains untuk indikator observasi, hipotesis, variabel, analisis	Mengukur kemampuan keterampilan proses sains pada siswa

Prosedur Penelitian

Pelaksanaan penelitian ini terdiri dari tiga tahap, yaitu pre-test, implementasi E-LKPD, dan post-test. Pada tahap pertama, pre-test diberikan untuk mengukur keterampilan proses sains awal siswa. Implementasi dilakukan dengan menggunakan E-LKPD yang telah dikembangkan, memungkinkan siswa mengakses video eksperimen dan simulasi laboratorium virtual. Tahap terakhir adalah post-test, yang bertujuan untuk mengukur peningkatan keterampilan proses sains siswa setelah penggunaan E-LKPD. Prosedur ini dirancang untuk mengevaluasi keefektifan E-LKPD secara komprehensif.

Tabel 4. Desain Uji Coba Penelitian

Tahap	Kegiatan Utama	Tujuan
Pre-test	Mengukur keterampilan proses sains sebelum E-LKPD	Mengetahui kondisi awal keterampilan siswa
Implementasi	Penerapan E-LKPD dalam pembelajaran	Meningkatkan keterampilan proses sains
Post-test	Mengukur keterampilan proses sains setelah E-LKPD	Menilai peningkatan keterampilan siswa

Analisis Data

Analisis data dalam penelitian ini dilakukan dengan pendekatan statistik deskriptif dan inferensial. Validitas dihitung dari skor rata-rata validator, yang dikategorikan "tinggi" jika mencapai minimal skor rata-rata 3.5 dari skala 5. Kepraktisan E-LKPD ditentukan melalui hasil angket dengan persentase respon minimal 70% yang dikategorikan sebagai "Praktis". Untuk mengevaluasi efektivitas, skor N-gain dihitung berdasarkan perbedaan skor pre-test dan post-test, dengan kategori efektivitas tinggi ($N\text{-gain} \geq 0.7$), sedang ($0.3 \leq N\text{-gain} < 0.7$), dan rendah ($N\text{-gain} < 0.3$).

Hasil N-gain pada setiap indikator keterampilan proses sains dianalisis untuk menentukan seberapa besar pengaruh E-LKPD terhadap kemampuan siswa dalam aspek-aspek seperti observasi dan perumusan hipotesis. Triangulasi data dilakukan dengan mengombinasikan data dari angket, observasi, dan hasil tes untuk memastikan validitas dan keakuratan data penelitian. Pendekatan ini didukung dengan validasi ulang serta modifikasi instrumen sesuai saran validator, termasuk penambahan panduan lebih detail dalam E-LKPD.

Tabel 5. Kriteria N-gain dan Interpretasi

Kategori N-gain	Rentang Nilai	Interpretasi Efektivitas
Tinggi	≥ 0.7	Tinggi
Sedang	$0.3 \leq N\text{-gain} < 0.7$	Moderate
Rendah	< 0.3	Rendah

Penelitian ini diharapkan dapat menghasilkan E-LKPD yang valid, praktis, dan efektif dalam melatihkan keterampilan proses sains siswa pada topik gerak harmonik

sederhana. Melalui penerapan model ADDIE dan analisis data yang komprehensif, penelitian ini berpotensi memberikan kontribusi signifikan pada pembelajaran sains berbasis teknologi dan meningkatkan kualitas pembelajaran melalui produk E-LKPD yang terintegrasi dengan teknologi virtual dan video eksperimen.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Penelitian

Penelitian ini menghasilkan pengembangan E-LKPD yang terintegrasi dengan video eksperimen dan laboratorium virtual yang berfokus pada peningkatan keterampilan proses sains (KPS) siswa dalam topik gerak harmonik sederhana. Produk yang dihasilkan terdiri dari tiga LKPD yang mencakup percobaan langsung dan virtual dengan perangkat simulasi, masing-masing didesain untuk memberikan pengalaman belajar yang mandiri, kolaboratif, dan praktis. Setiap LKPD memuat komponen inti seperti pengantar materi, kolom “Tahukah Kamu?” sebagai motivasi awal, dan panduan video eksperimen yang merinci langkah-langkah percobaan secara visual. Melalui komponen ini, diharapkan siswa dapat belajar secara mandiri dan mengalami pembelajaran yang lebih mendalam pada materi gerak harmonik sederhana.

Komponen dan Desain E-LKPD

E-LKPD gerak harmonik sederhana ini dirancang sesuai dengan model pembelajaran langsung (Direct Instruction) dan berfungsi sebagai panduan bagi siswa dalam melakukan kegiatan eksperimen dan praktikum virtual. Pada setiap sesi, E-LKPD menampilkan struktur instruksi yang jelas, dimulai dari pembukaan, langkah kerja, hingga kesimpulan. Konten disajikan secara terstruktur, dengan langkah-langkah percobaan yang dilengkapi video eksperimen sebagai panduan visual. Hal ini memudahkan siswa dalam memahami instruksi serta melatih keterampilan mereka dalam menjalankan prosedur eksperimen, bahkan di luar ruang kelas. Penelitian menunjukkan bahwa penggunaan video eksperimen dan simulasi laboratorium virtual dapat mengurangi beban kognitif siswa dengan menyajikan informasi dalam format visual yang lebih mudah diakses dan dipahami, sesuai dengan teori pembelajaran multimedia yang menekankan pentingnya dual coding (Sutarno et al., 2023).

Dalam praktiknya, E-LKPD ini dibagi menjadi dua sub-materi, yaitu ayunan bandul sederhana dan getaran pegas, yang masing-masing disajikan untuk dua jam pelajaran. Setiap sub-materi didesain dengan langkah-langkah yang sistematis, mencakup observasi, pengumpulan data, analisis, dan interpretasi. Simulasi virtual dalam E-LKPD menggunakan platform PhET, yang memungkinkan siswa untuk melakukan eksperimen secara virtual, seperti mengamati perubahan frekuensi dan amplitudo pada gerak harmonik sederhana. Integrasi ini berfungsi sebagai alat bantu yang mendukung pembelajaran berbasis inkuiri dan memungkinkan siswa untuk mengontrol variabel-variabel dalam eksperimen sehingga mereka dapat memahami konsep-konsep dasar fisika secara lebih mendalam.

Validitas E-LKPD

Hasil pengujian validitas E-LKPD oleh para ahli menunjukkan skor rata-rata sebesar 3.56 dari skala 5, yang masuk dalam kategori “Sangat Valid”. Validitas ini dinilai berdasarkan aspek didaktik, konstruksi, teknik, keterampilan proses sains, serta komponen video eksperimen. Validitas yang tinggi pada aspek didaktik (skor 3.53) menunjukkan bahwa E-LKPD telah dirancang dengan tujuan pembelajaran yang jelas dan relevan dengan standar kurikulum fisika, yang berfokus pada pembentukan KPS. Selain itu, aspek konstruksi yang memperoleh skor tertinggi (3.57) mengindikasikan bahwa E-LKPD ini mudah digunakan dan memiliki tata letak yang intuitif, sehingga siswa dapat dengan mudah mengikuti alur pembelajaran.



Gambar 1. Video eksperimen dan laboratorium virtual pada E-LKPD

Validitas pada aspek teknik (skor 3.29) menunjukkan bahwa meskipun E-LKPD secara keseluruhan dinilai valid, terdapat ruang untuk peningkatan dalam hal penggunaan media dan efektivitas instruksional yang lebih mendalam. Menurut Andriana et al. (2022), aspek teknis sangat penting dalam memastikan bahwa desain LKPD mendukung keterlibatan siswa dengan cara yang efektif dan interaktif, terutama dalam konteks pembelajaran daring. Oleh karena itu, validasi oleh pakar dilakukan dengan mempertimbangkan saran dan masukan yang relevan, seperti penambahan deskripsi langkah-langkah eksperimen dan panduan penggunaan PhET untuk memudahkan siswa dalam mengikuti simulasi.

E-LKPD ini juga mendapatkan validitas tinggi dalam aspek keterampilan proses sains dan komponen video eksperimen (skor masing-masing 4.00 dan 3.48). Integrasi video eksperimen dirancang untuk membantu siswa memvisualisasikan proses-proses yang mungkin sulit dipahami melalui instruksi tertulis saja. Penelitian oleh Hernawati et al. (2018) menunjukkan bahwa penggunaan media visual seperti video eksperimen dapat meningkatkan kemampuan siswa dalam merumuskan hipotesis, mengidentifikasi variabel, dan menganalisis data, karena siswa dapat mengamati setiap tahapan eksperimen dengan lebih jelas. Tampilan produk penelitian ini sidaijikan pada Gambar 1.

Tabel 1. Hasil Validitas E-LKPD

No.	Aspek Tinjauan	Rata-rata	Kategori
1	Didaktik	3.53	Sangat Valid
2	Konstruksi	3.57	Sangat Valid
3	Teknik	3.29	Valid
4	Keterampilan Proses Sains	4.00	Sangat Valid
5	Video Eksperimen	3.48	Sangat Valid
Rata-rata Validitas		3.56	Sangat Valid

Kepraktisan E-LKPD

Kepraktisan E-LKPD diukur melalui angket yang diberikan kepada 22 siswa, dengan hasil menunjukkan skor rata-rata sebesar 70,31%, yang tergolong "Praktis".

Siswa menilai kepraktisan E-LKPD berdasarkan tiga aspek, yaitu daya tarik, isi, dan kemudahan penggunaan. Sebanyak 86,4% siswa menyatakan bahwa E-LKPD membantu mereka memahami konsep gerak harmonik dengan lebih mudah berkat penggunaan video eksperimen yang memperjelas prosedur dan konsep fisika yang dipelajari. Sementara itu, 81,3% siswa menyatakan bahwa ilustrasi dan tautan video yang tersedia mempermudah mereka dalam mengidentifikasi variabel dan menganalisis hasil eksperimen.

Kepraktisan E-LKPD ini juga ditunjang oleh desain yang interaktif dan user-friendly, yang memungkinkan siswa untuk mengikuti langkah-langkah pembelajaran dengan sedikit hambatan teknis. Penelitian Karanggulimu et al. (2021) mendukung bahwa media pembelajaran berbasis teknologi membantu menciptakan pengalaman belajar yang lebih efektif dan efisien, terutama pada pembelajaran daring, dengan meningkatkan keterlibatan siswa dan meminimalkan hambatan yang mungkin timbul akibat pembelajaran jarak jauh.

Tabel 2. Hasil Kepraktisan E-LKPD

No.	Aspek Penilaian	Rata-rata (%)	Kategori
1	Kemenarikan	79,83%	Praktis
2	Isi	74,15%	Praktis
3	Kemudahan	76,14%	Praktis
Rata-rata		70,31%	Praktis

Selain itu, kepraktisan E-LKPD juga dapat dilihat dari hasil observasi keterlibatan siswa selama sesi pembelajaran. Berdasarkan pengamatan, siswa secara aktif mengikuti langkah-langkah yang disajikan dalam video eksperimen dan mampu menjalankan simulasi PhET dengan baik. Temuan ini menunjukkan bahwa penggunaan video sebagai panduan eksperimen memberikan pengalaman yang mendalam dan mengurangi hambatan dalam memahami prosedur praktikum. Hal ini mendukung prinsip-prinsip teori kognitif dalam pembelajaran multimedia, di mana video pembelajaran dapat membantu siswa memvisualisasikan proses ilmiah dan meningkatkan pemahaman konseptual secara keseluruhan (Sutarno et al., 2023).

Efektivitas E-LKPD

Efektivitas E-LKPD dalam meningkatkan keterampilan proses sains siswa diukur melalui pre-test dan post-test yang dianalisis menggunakan N-gain. Skor rata-rata N-gain sebesar 0,53, yang masuk dalam kategori "Sedang," menunjukkan bahwa E-LKPD berhasil meningkatkan keterampilan proses sains siswa, terutama dalam aspek seperti merumuskan masalah, membuat hipotesis, mengidentifikasi variabel, dan menyimpulkan data hasil eksperimen. Penggunaan E-LKPD yang terintegrasi dengan video eksperimen dan laboratorium virtual memungkinkan siswa untuk tidak hanya memahami konsep teoretis, tetapi juga melatih keterampilan praktis dan analisis ilmiah mereka.

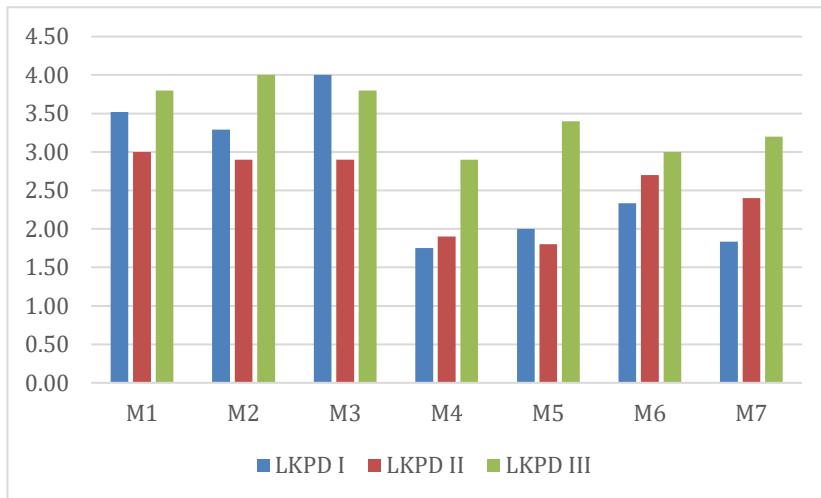
Dalam studi ini, peningkatan keterampilan proses sains yang paling menonjol terlihat pada kemampuan siswa dalam merumuskan hipotesis dan menyimpulkan hasil eksperimen. Berdasarkan data observasi, siswa menunjukkan pemahaman yang lebih baik dalam mengidentifikasi variabel independen dan dependen setelah mengamati video eksperimen. Hal ini konsisten dengan penelitian Susilawati et al. (2021) yang menunjukkan bahwa model pembelajaran berbasis inkuiri dengan dukungan video pembelajaran dapat membantu siswa mengembangkan kemampuan berpikir kritis dan analitis.

Tabel 3. Hasil Efektivitas E-LKPD melalui THB

Tahap	Rata-rata Pre-test	Rata-rata Post-test	N-Gain Rata-rata	Kategori
Sebelum E-LKPD	4.05	55.40	0.53	Sedang

Dampak terhadap Keterampilan Proses Sains Siswa

Berdasarkan data pengamatan, siswa menunjukkan peningkatan signifikan dalam keterampilan proses sains setelah menggunakan E-LKPD. Pada indikator keterampilan proses sains seperti merumuskan masalah (M1), membuat hipotesis (M2), dan mengidentifikasi variabel (M3), siswa menunjukkan kemajuan yang signifikan dari sesi ke sesi. Siswa yang awalnya mengalami kesulitan dalam mengidentifikasi variabel selama sesi percobaan pertama, secara bertahap mampu mengidentifikasi variabel dengan lebih baik pada sesi berikutnya setelah melihat contoh dalam video eksperimen. Pencapaian ketampilan proses siswa menggunakan produk penelitian disajikan pada Gambar 2 yang mengukur indikator KPS merumuskan masalah (M1), merumuskan hipotesis (M2), mengidentifikasi variabel (M3), mendefinisikan operasional variabel (M4), mengambil data percobaan (M5), menganalisis data (M6), menyimpulkan (M7).



Gambar 2. Video eksperimen dan laboratorium virtual pada E-LKPD

Penggunaan laboratorium virtual dalam E-LKPD ini juga memungkinkan siswa untuk melakukan manipulasi variabel secara mandiri, yang pada akhirnya membantu mereka memahami hubungan kausal dalam eksperimen fisika. Temuan ini menunjukkan bahwa kombinasi video eksperimen dan simulasi virtual memberikan kontribusi besar dalam pengembangan keterampilan analisis siswa, sejalan dengan penelitian Bonato et al. (2017) yang menunjukkan bahwa video eksperimen membantu mengatasi miskonsepsi siswa terhadap konsep-konsep fisika.

Secara keseluruhan, E-LKPD yang dikembangkan dalam penelitian ini telah terbukti valid, praktis, dan efektif dalam meningkatkan keterampilan proses sains siswa. Dengan memperhatikan validitas, kepraktisan, dan efektivitas yang dicapai, E-LKPD ini dapat direkomendasikan sebagai alat bantu pembelajaran yang inovatif dan efektif dalam topik gerak harmonik sederhana, terutama dalam konteks pembelajaran yang membutuhkan keterlibatan siswa secara mandiri dan interaktif.

Diskusi

Hasil penelitian menunjukkan bahwa E-LKPD terintegrasi video eksperimen dan laboratorium virtual untuk topik gerak harmonik sederhana dinilai valid, praktis, dan efektif dalam melatihkan keterampilan proses sains (KPS) siswa. Pembahasan ini akan menguraikan dampak dari masing-masing aspek, yaitu validitas, kepraktisan, dan efektivitas E-LKPD terhadap peningkatan pemahaman dan keterampilan siswa.

Validitas E-LKPD

Hasil validasi yang ditunjukkan dalam Tabel 1 menampilkan bahwa E-LKPD mendapat skor rata-rata 3.56 dari skala 5, yang masuk kategori "Sangat Valid".

Validitas tertinggi berada pada aspek keterampilan proses sains dan konstruksi, yang masing-masing mendapatkan skor 4.00 dan 3.57. Temuan ini menunjukkan bahwa E-LKPD yang dikembangkan telah sesuai dengan standar pedagogis dan mendukung tujuan pengembangan keterampilan proses sains yang dirancang untuk meningkatkan kemampuan analitis dan pemahaman siswa dalam bidang fisika. Validitas aspek konstruksi ini sangat penting karena menunjukkan bahwa E-LKPD memiliki desain yang intuitif dan menarik bagi siswa, membuat mereka lebih mudah memahami langkah-langkah pembelajaran yang disajikan.

Validitas tinggi pada aspek keterampilan proses sains didukung oleh penelitian Andriana et al. (2022), yang menyatakan bahwa LKPD yang dirancang untuk pembelajaran sains harus mendorong siswa untuk melakukan observasi, mengidentifikasi variabel, dan menguji hipotesis sebagai bagian dari pembelajaran aktif. Dalam konteks ini, video eksperimen yang terintegrasi dalam E-LKPD berperan penting dalam membantu siswa memvisualisasikan langkah-langkah percobaan dan memahami konsep-konsep yang kompleks. Hal ini konsisten dengan teori pembelajaran multimedia yang menunjukkan bahwa kombinasi teks dan visual dapat mengurangi beban kognitif siswa dan membantu mereka dalam mengasimilasi informasi lebih efektif (Sutarno et al., 2023). Video eksperimen memungkinkan siswa untuk melihat demonstrasi percobaan secara langsung, yang memudahkan mereka dalam mengidentifikasi dan memahami variabel-variabel percobaan.

Selain itu, skor validitas yang tinggi pada aspek didaktik (3.53) menunjukkan bahwa E-LKPD ini memiliki kemampuan untuk memberikan panduan yang sistematis dan mendukung proses pembelajaran yang berkelanjutan. Dalam penelitian Karanggulimu et al. (2021), disebutkan bahwa perangkat pembelajaran yang didesain dengan prinsip-prinsip didaktik yang jelas akan mendukung ketercapaian hasil belajar yang lebih optimal, terutama dalam pembelajaran sains yang memerlukan pendekatan praktis. Penggunaan E-LKPD yang berbasis video eksperimen dan laboratorium virtual memungkinkan siswa untuk memahami prosedur eksperimen tanpa harus melakukan percobaan fisik secara langsung, yang sangat relevan terutama dalam konteks pembelajaran daring atau situasi keterbatasan alat.

Kepraktisan E-LKPD

Kepraktisan E-LKPD yang diukur melalui angket menunjukkan rata-rata skor kepraktisan sebesar 70,31%, yang termasuk kategori "Praktis" (lihat Tabel 2). Kepraktisan ini mencakup aspek daya tarik, kelengkapan isi, dan kemudahan penggunaan, di mana masing-masing aspek memperoleh penilaian yang baik dari siswa. Sebagian besar siswa menyatakan bahwa mereka merasa terbantu dengan adanya panduan langkah demi langkah dalam video eksperimen, yang memungkinkan mereka untuk memahami materi dengan lebih baik. Hasil ini menunjukkan bahwa media pembelajaran berbasis visual, seperti video eksperimen, mampu menarik perhatian siswa dan membuat proses pembelajaran lebih interaktif dan menyenangkan.

Penelitian ini sejalan dengan temuan penelitian lain yang menunjukkan bahwa penggunaan video dalam pembelajaran sains membantu siswa dalam memahami konsep dengan lebih mendalam. Hernawati et al. (2018) menyebutkan bahwa media video dan simulasi interaktif mampu meningkatkan minat belajar siswa karena mereka dapat belajar dengan lebih mandiri dan sesuai dengan kecepatan mereka sendiri. Siswa dapat mengakses video eksperimen kapan saja dan di mana saja, yang meningkatkan fleksibilitas pembelajaran dan memungkinkan mereka untuk mengulang materi jika diperlukan. Hal ini terutama bermanfaat bagi siswa yang mungkin membutuhkan waktu lebih lama untuk memahami konsep atau langkah-langkah dalam percobaan.

Kepraktisan ini juga ditunjukkan oleh data observasi yang mengindikasikan bahwa mayoritas siswa dapat menjalankan langkah-langkah dalam percobaan dengan mudah dan memahami setiap tahap percobaan yang ditampilkan dalam video. Tabel 2

juga menunjukkan bahwa aspek kemudahan penggunaan mendapat nilai rata-rata 76,14%, yang menunjukkan bahwa desain E-LKPD ini cukup intuitif untuk digunakan oleh siswa. Desain yang user-friendly dalam E-LKPD ini meminimalkan gangguan teknis dan memungkinkan siswa fokus pada materi pembelajaran. Menurut Bonato et al. (2017), desain instruksional yang baik harus sederhana dan langsung, sehingga tidak mengganggu konsentrasi siswa pada konten pembelajaran.

Efektivitas E-LKPD

Efektivitas E-LKPD diukur melalui peningkatan keterampilan proses sains yang ditunjukkan dengan skor N-gain sebesar 0,53, yang masuk dalam kategori "Sedang" (lihat Tabel 3). Hasil ini menunjukkan bahwa E-LKPD efektif dalam membantu siswa meningkatkan keterampilan proses sains, khususnya dalam aspek merumuskan masalah, mengidentifikasi variabel, dan menyimpulkan data eksperimen. Temuan ini mendukung hipotesis bahwa penggunaan E-LKPD berbasis video eksperimen dan laboratorium virtual dapat meningkatkan keterampilan ilmiah siswa melalui pembelajaran berbasis inkuiri yang memfasilitasi pengamatan langsung dan eksplorasi variabel.

Efektivitas ini juga ditunjukkan pada peningkatan pemahaman konsep siswa dalam materi gerak harmonik sederhana. Berdasarkan data observasi, setelah menggunakan E-LKPD, siswa menunjukkan pemahaman yang lebih baik dalam mengidentifikasi variabel dan menjelaskan hubungan antar variabel. Penggunaan video eksperimen memungkinkan siswa untuk memvisualisasikan proses eksperimen, yang penting dalam pembelajaran sains karena memungkinkan siswa untuk melihat langsung aplikasi dari teori-teori fisika yang mereka pelajari. Asbanu (2021) juga menemukan bahwa penggunaan video dalam pembelajaran fisika membantu siswa dalam menguasai keterampilan praktis dan analisis data, yang keduanya merupakan komponen penting dalam keterampilan proses sains.

Lebih jauh lagi, peningkatan keterampilan merumuskan hipotesis pada siswa menunjukkan bahwa E-LKPD ini tidak hanya meningkatkan keterampilan teknis tetapi juga kemampuan berpikir kritis. Menurut Susilawati et al. (2021), pendekatan pembelajaran berbasis inkuiri dengan dukungan video eksperimen memungkinkan siswa untuk mengajukan pertanyaan kritis dan menyusun hipotesis berdasarkan pengamatan mereka, yang merupakan dasar dari keterampilan proses sains. Siswa dalam penelitian ini menunjukkan perkembangan yang signifikan dalam hal kemampuan untuk menyusun hipotesis yang logis dan berbasis data setelah mengikuti langkah-langkah dalam video eksperimen.

Perspektif Teoritis

Penelitian ini sejalan dengan teori pembelajaran kognitif yang menyatakan bahwa proses belajar akan lebih efektif jika siswa dapat memanipulasi dan mengeksplorasi objek dalam lingkungan yang terkendali. E-LKPD yang terintegrasi dengan video eksperimen dan laboratorium virtual memungkinkan siswa untuk melakukan eksplorasi tersebut dalam konteks virtual, yang mengurangi resiko dan keterbatasan yang sering dihadapi dalam eksperimen fisika secara langsung. Hal ini mendukung prinsip beban kognitif dalam pembelajaran, di mana kombinasi instruksi visual dan teks dalam video eksperimen membantu mengurangi beban kognitif ekstrinsik, memungkinkan siswa memfokuskan upaya kognitif mereka pada pemahaman konsep-konsep inti (Sutarno et al., 2023).

Teori beban kognitif ini sangat relevan dalam konteks pembelajaran sains yang melibatkan banyak prosedur teknis, di mana siswa mungkin merasa terbebani jika tidak dibantu dengan alat bantu visual. Dengan menyediakan video yang memandu siswa melalui setiap langkah eksperimen, E-LKPD ini meminimalisir kebingungan dan memudahkan siswa untuk memahami dan mengingat prosedur eksperimen, yang pada akhirnya mendukung ketercapaian hasil belajar yang lebih baik. Penelitian lain oleh Bonato et al. (2017) juga menunjukkan bahwa video eksperimen dapat membantu

mengatasi miskonsepsi dalam fisika, yang sering kali terjadi karena siswa sulit membayangkan proses abstrak yang tidak terlihat langsung.

Implikasi dan Keterbatasan

Temuan dari penelitian ini memiliki implikasi penting dalam pengembangan perangkat pembelajaran berbasis teknologi di bidang pendidikan sains, terutama dalam konteks pembelajaran daring atau pembelajaran yang minim fasilitas laboratorium. Penggunaan E-LKPD ini dapat memperkaya pengalaman belajar siswa, meningkatkan keterampilan proses sains, dan memberikan alternatif yang efisien untuk praktik laboratorium tradisional yang memerlukan biaya tinggi dan sumber daya yang lebih besar. Namun, penelitian ini memiliki keterbatasan dalam hal jumlah sampel yang terbatas dan variasi populasi, yang mungkin mempengaruhi generalisasi hasil.

Penelitian lanjutan direkomendasikan untuk menguji E-LKPD ini pada populasi yang lebih luas dan beragam, serta mengeksplorasi integrasi teknologi lain seperti augmented reality (AR) yang dapat meningkatkan interaksi siswa dengan konten pembelajaran secara lebih mendalam. Dengan demikian, E-LKPD ini diharapkan dapat menjadi referensi dalam pengembangan perangkat pembelajaran digital yang lebih inovatif dan efektif untuk pendidikan sains di era digital.

KESIMPULAN

Penelitian ini menghasilkan E-LKPD terintegrasi dengan video eksperimen dan laboratorium virtual yang terbukti valid, praktis, dan efektif dalam melatih keterampilan proses sains (KPS) pada siswa, khususnya dalam materi gerak harmonik sederhana. Hasil validasi menunjukkan bahwa E-LKPD memperoleh skor validitas yang tinggi pada aspek didaktik, konstruksi, dan keterampilan proses sains, yang berarti bahwa E-LKPD ini dirancang secara sistematis untuk mendukung ketercapaian tujuan pembelajaran. Aspek kepraktisan juga tercermin dari respon siswa yang positif, dengan 70,31% siswa menyatakan bahwa E-LKPD mudah digunakan dan membantu mereka dalam memahami konsep fisika melalui panduan visual yang jelas. Ini mengindikasikan bahwa integrasi video eksperimen dan simulasi virtual tidak hanya meningkatkan keterlibatan siswa, tetapi juga memfasilitasi pemahaman yang lebih mendalam terhadap konsep-konsep fisika.

Efektivitas E-LKPD ini dibuktikan dengan peningkatan keterampilan proses sains siswa, dengan skor N-gain sebesar 0,53 yang menunjukkan kategori "Sedang". Penggunaan E-LKPD ini berhasil membantu siswa dalam merumuskan masalah, membuat hipotesis, mengidentifikasi variabel, serta menganalisis dan menyimpulkan data eksperimen. Temuan ini mendukung prinsip pembelajaran berbasis inkuiri yang mendorong siswa untuk belajar melalui eksplorasi dan pengamatan langsung. Dengan menyediakan media pembelajaran visual dan simulatif yang interaktif, E-LKPD ini berperan dalam mengatasi hambatan pembelajaran yang biasanya timbul dalam materi yang bersifat abstrak, sehingga memungkinkan siswa untuk memahami aplikasi nyata dari konsep-konsep fisika yang dipelajari. Berdasarkan hasil ini, E-LKPD dapat direkomendasikan sebagai perangkat pembelajaran berbasis teknologi yang efektif untuk melatih keterampilan ilmiah dan meningkatkan pemahaman siswa dalam pendidikan sains, khususnya di lingkungan pembelajaran yang minim fasilitas laboratorium.

REKOMENDASI

Berdasarkan hasil penelitian, beberapa rekomendasi dapat diajukan untuk pengembangan dan penggunaan E-LKPD ini dalam pembelajaran sains. Pertama, E-LKPD ini direkomendasikan untuk diterapkan secara lebih luas dalam pembelajaran fisika, terutama pada topik-topik yang memerlukan visualisasi proses dan pemahaman konsep abstrak. Penggunaan video eksperimen dan simulasi laboratorium virtual

dapat membantu siswa memahami proses-proses ilmiah dengan lebih jelas dan mandiri. Sekolah-sekolah dengan keterbatasan fasilitas laboratorium juga dapat memanfaatkan E-LKPD ini sebagai alternatif yang efektif dan efisien dalam memberikan pengalaman belajar yang komprehensif kepada siswa.

Kedua, disarankan untuk melakukan penelitian lanjutan dengan populasi yang lebih besar dan beragam agar generalisasi hasil penelitian ini dapat ditingkatkan. Selain itu, perlu dilakukan pengembangan lebih lanjut dengan menambahkan fitur interaktif lain, seperti augmented reality (AR) atau virtual reality (VR), untuk memperkaya pengalaman belajar dan meningkatkan keterlibatan siswa. Teknologi ini berpotensi meningkatkan kedalaman interaksi siswa dengan materi pembelajaran, yang dapat mendukung pengembangan keterampilan proses sains secara lebih optimal.

Terakhir, guru disarankan untuk memanfaatkan E-LKPD ini sebagai bagian dari strategi pembelajaran berbasis inkuiri dan diskusi kelompok. Guru dapat memfasilitasi proses eksplorasi mandiri siswa dengan panduan yang lebih fleksibel, sehingga siswa dapat berdiskusi dan berbagi temuan eksperimen mereka. Dengan demikian, E-LKPD ini tidak hanya berfungsi sebagai alat bantu pembelajaran yang efektif, tetapi juga mendorong kolaborasi dan keterampilan komunikasi di antara siswa, yang penting dalam pembelajaran sains.

REFERENSI

- Addabbo, T., Tommaso, M., & Maccagnan, A. (2015). Education capability: A focus on gender and science. *Social Indicators Research*, 128(2), 793-812. <https://doi.org/10.1007/s11205-015-1057-8>
- Afridi, T. (2021). Digital learning as education innovation at universities. *Psychology and Education Journal*, 58(1), 5273-5289. <https://doi.org/10.17762/pae.v58i1.2083>
- Alhashem, F. (2023). Technology-enhanced learning through virtual laboratories in chemistry education. *Contemporary Educational Technology*, 15(4), ep474. <https://doi.org/10.30935/cedtech/13739>
- Ali, N., Ullah, S., & Khan, D. (2022). Interactive laboratories for science education: A subjective study and systematic literature review. *Multimodal Technologies and Interaction*, 6(10), 85. <https://doi.org/10.3390/mti6100085>
- Andriana, E., Fauzany, P., & Alamsyah, T. (2022). 21st century multimedia innovation: Development of e-LKPD based on scientific inquiry in science class. *Journal of Innovation in Educational and Cultural Research*, 3(4), 731-736. <https://doi.org/10.46843/jiecr.v3i4.242>
- Angraini, L., & Nurmala, N. (2022). The effect of interactive multimedia-based learning on students' mathematical critical thinking ability in the course of structure algebra. *Jurnal Didaktik Matematika*, 9(2), 217-229. <https://doi.org/10.24815/jdm.v9i2.26839>
- Asbanu, D. (2021). Application of scientific guided inquiry assisted video analysis tracker to improve science generic skills. *International Journal of Current Science Research and Review*, 4(12), 100-108. <https://doi.org/10.47191/ijcsrr/v4-i12-12>
- Asni, A. (2023). Pengembangan e-LKPD berbasis realistic mathematics education (RME) berbantuan Google Form untuk meningkatkan kemampuan berpikir kritis siswa kelas IV SD. *Tematik Jurnal Penelitian Pendidikan Dasar*, 2(2), 166-171. <https://doi.org/10.57251/tem.v2i2.1202>
- Bahtiar, B., & Dukomalamo, N. (2019). Basic science process skills of biology laboratory practice: Improving through discovery learning. *Biosfer*, 12(1), 83-93. <https://doi.org/10.21009/biosferjpb.v12n1.83-93>
- Bonato, J., Gratton, L., Onorato, P., & Oss, S. (2017). Using high-speed smartphone cameras and video analysis techniques to teach mechanical wave physics. *Physics Education*, 52(4), 045017. <https://doi.org/10.1088/1361-6552/aa6f8c>

- Byukusenge, C., Nsanganwimana, F., & Tarmo, A. (2023). Exploring students' perceptions of virtual and physical laboratory activities and usage in secondary schools. *International Journal of Learning, Teaching and Educational Research*, 22(5), 437-456. <https://doi.org/10.26803/ijlter.22.5.22>
- Cahyani, S. (2024). Development of iSpring e-LKPD based on guided discovery learning on hydrolysis of salt material for class XI SMA/MA. *Edukimia*, 6(1), 30-37. <https://doi.org/10.24036/ekj.v6.i1.a511>
- Dewi, U., Sumarno, A., Dimas, H., & Kristanto, A. (2022). Student responsibilities towards online learning in interactive multimedia courses. *Journal of Education Technology*, 6(1), 38-44. <https://doi.org/10.23887/jet.v6i1.41522>
- Dube, T., & Williams, S. (2020). Mapping digital technologies to pedagogies inspired by Bloom's taxonomy. *EDULEARN Proceedings*, 2020, 1082-1088. <https://doi.org/10.21125/edulearn.2020.0812>
- Febriansyah, F., Herlina, K., Nyeneng, I., & Abdurrahman, A. (2021). Developing electronic student worksheet (e-worksheet) based project using FlipHTML5 to stimulate science process skills during the COVID-19 pandemic. *Insecta Integrative Science Education and Teaching Activity Journal*, 2(1), 59-73. <https://doi.org/10.21154/insecta.v2i1.2555>
- Gunawan, G., Harjono, A., Hermansyah, H., & Herayanti, L. (2019). Guided inquiry model through virtual laboratory to enhance students' science process skills on heat concept. *Jurnal Cakrawala Pendidikan*, 38(2), 259-268. <https://doi.org/10.21831/cp.v38i2.23345>
- Hamdani, H., & Oktaviyant, E. (2022). Penerapan virtual laboratorium di masa pandemi COVID-19 untuk meningkatkan keterampilan proses sains mahasiswa calon guru fisika. *Jurnal Pendidikan Informatika dan Sains*, 11(1), 29-35. <https://doi.org/10.31571/saintek.v11i1.3612>
- Hartanto, T., Dinata, P., Azizah, N., Qadariah, A., & Pratama, A. (2023). Students' science process skills and understanding on Ohm's law and direct current circuit through virtual laboratory-based predict-observe-explain model. *Jurnal Pendidikan Sains Indonesia*, 11(1), 113-128. <https://doi.org/10.24815/jpsi.v11i1.27477>
- Hernawati, D., Amin, M., Irawati, M., Indriwati, S., & Omar, N. (2018). The effectiveness of scientific approach using encyclopedia as learning materials in improving students' science process skills in science. *Jurnal Pendidikan IPA Indonesia*, 7(3), 264-273. <https://doi.org/10.15294/jpii.v7i3.14459>
- Ilsa, A., F, F., & Harun, M. (2020). Pengembangan Video Pembelajaran dengan Menggunakan Aplikasi Powerdirector 18 di Sekolah Dasar. *Jurnal Basicedu*, 5(1), 288-300. <https://doi.org/10.31004/basicedu.v5i1.643>
- Karanggulimu, A., & Prasetyo, Z. (2021). The application of contextual physics teaching materials assisted by android-based virtual labs to improve students' science process skills during the learning activities in COVID-19 pandemic. *Proceedings of the 2021 International Conference on Science and Education*, 531, 110-117. <https://doi.org/10.2991/assehr.k.210326.077>
- Nirmala, W., & Darmawati, S. (2021). The effectiveness of discovery-based virtual laboratory learning to improve student science process skills. *Journal of Education Technology*, 5(1), 103-110. <https://doi.org/10.23887/jet.v5i1.33368>
- Prasasti, P. A. T. (2018). Efektivitas Scientific Approach with Guided Experiment pada pembelajaran IPA untuk memberdayakan keterampilan proses sains siswa sekolah dasar. *Profesi Pendidikan Dasar*, 1(1), 16-22. <https://doi.org/10.23917/ppd.v1i1.3623>
- Putri, L. A., Permanasari, A., Winarno, N., & Ahmad, N. J. (2021). Enhancing students' scientific literacy using virtual lab activity with inquiry-based learning. *Journal of Science Learning*, 4(2), 173-184. <https://doi.org/10.17509/jsl.v4i2.27561>

- Ramadhani, R., Miriam, S., & Mahtari, S. (2020). Pengembangan LKPD Gerak Harmonik Sederhana berbasis Hands-On dan Minds-On Activity untuk meningkatkan hasil belajar peserta didik. *Kappa Journal*, 4(2), 217-224. <https://doi.org/10.29408/kpj.v4i2.2549>
- Susilawati, S., Doyan, A., Ayub, S., Wahyudi, W., Arduha, J., & Mulyadi, L. (2021). The effectiveness of guided inquiry-based on nuclear physics learning devices with phet media to increase student creativity. *Jurnal Penelitian Pendidikan IPA*, 7(4), 770-774. <https://doi.org/10.29303/jppipa.v7i4.978>
- Sutarno, S., Putri, D., Malik, A., Gunawan, G., & Purwanto, A. (2023). Student's written communication skills in learning physics using virtual lab-based video tutorials. In Proceedings of the 2023 International Conference on Science and Technology in Education (pp. 307-315). https://doi.org/10.2991/978-2-38476-012-1_38
- Verawati, N. (2023). Examining STEM students' computational thinking skills through interactive practicum utilizing technology. *International Journal of Essential Competencies in Education*, 2(1), 54-65. <https://doi.org/10.36312/ijece.v2i1.1360>