

Journal of Communication and Education Studies ***(JCES)***

Vol. 1, No. 1 (2025), p. 23-37 | e-ISSN: xxxx-xxxx
<https://ejournal.mentorta.com/index.php/jces/index>

Improving Students' Critical Thinking Skills through E-LKPD Assisted by V-Lab and PBL with Proteus 8: A Case Study of Digital Instrument Material at SMA KP 2 Ciparay

Syahri Ramadhanti¹, Arfian Alinda Herman², Amelia Zulfiani³, Siti Cahyati Intan Pratiwi⁴

¹Physics Education, Sunan Gunung Djati University, Bandung, Indonesia

²Islamic Education, State Islamic Institute, Parepare, Indonesia

³Islamic Creed and Philosophy, UIN Sjech M. Djamil Djambek Bukittinggi, Indonesia

⁴Islamic Guidance and Counselling, State Islamic Institute Pontianak, Indonesia

E-mail: 1syahriramadhanti2311@gmail.com*, 2arfianalindaherman@iainpare.ac.id,
3ameliazulfiani29@gmail.com, 4siticahyatiintan@gmail.com

*Corresponding Author

Received: June 2, 2025; Accepted: August 7, 2025; Published: September 29, 2025

Abstract

This study was motivated by the low critical thinking skills of students in introductory digital instrumentation at senior high school, which was caused by a theoretical learning approach and limited physical laboratory facilities, thus requiring innovative technology-based media to support contextual learning. The main objective of this study was to develop an E-LKPD assisted by a Virtual Laboratory (V-Lab) using Proteus 8 Professional with a Problem-Based Learning (PBL) model to improve the critical thinking skills of grade XII MIPA-1 students at SMA KP 2 Ciparay. The research method adopted a Research and Development (R&D) approach using the ADDIE model, involving 31 students through the stages of needs analysis, design, development, implementation of two meetings, and evaluation, with instruments in the form of expert validation, observation of implementation, and pretest-posttest tests analysed using N-gain and paired t-tests. The results showed high validity of the E-LKPD (0.97 for the media and 0.84 for the material), good to very good learning implementation (average 82-85%), and a significant increase in critical thinking skills with an N-gain of 0.73 (high category), where 70.97% of participants achieved high improvement, especially in the basic support indicator (0.81) and semiconductor sub-material (0.74). The research conclusion states that V-Lab and PBL-based E-LKPD effectively transform physics learning into an interactive experience, with implications for increasing student motivation and independence. The research contributes to the fields of education and communication by providing an inclusive digital instructional media model, reducing laboratory access disparities, and enriching STEM learning strategies in the digital era, thereby supporting the transformation of the independent curriculum with potential implications for replication in other state schools.

Keyword: *E-LKPD, V-Lab, Proteus 8, Critical Thinking, Problem-Based Learning*



Copyright © 2025 The Author(s)

This is an open-access article under the [CC BY-SA](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/) license.

PENDAHULUAN

Pendidikan abad ke-21 menekankan pengembangan keterampilan berpikir kritis sebagai fondasi utama dalam membentuk generasi adaptif terhadap perubahan teknologi dan globalisasi (Li et al., 2025; Tsayang et al., 2020). Sebagai makhluk berakal, manusia bergantung pada pendekatan inovatif untuk mengintegrasikan pengetahuan, di mana teknologi seperti Virtual Laboratory (V-Lab) dan software simulasi menjadi krusial dalam proses belajar (Salcedo & Espinosa, 2019). Menurut survei global, 70% siswa menunjukkan retensi lebih tinggi melalui pembelajaran berbasis masalah dan simulasi digital, menandakan pentingnya media seperti E-LKPD untuk mengasah keterampilan tingkat tinggi (Dimitriadou & Lanitis, 2023). Dalam konteks pendidikan fisika, pemanfaatan teknologi ini selaras dengan prinsip pendidikan holistik, menggabungkan nilai-nilai keagamaan dengan kemajuan sains untuk membentuk siswa yang kritis, kreatif, dan beretika.

Namun, meskipun teknologi pendidikan semakin maju, implementasinya di lembaga pendidikan Indonesia, termasuk sekolah menengah seperti SMA KP 2 Ciparay, masih menghadapi berbagai tantangan struktural dan pedagogis. Di SMA KP 2 Ciparay, proses pembelajaran fisika pada materi pengantar instrumen digital sering kali bergantung pada metode konvensional yang monoton, sementara pemanfaatan V-Lab dan software seperti Proteus 8 Professional masih terbatas pada kelas eksperimen tertentu. Hal ini menciptakan ketidakseimbangan dalam akses teknologi, di mana siswa berpotensi mengalami penurunan motivasi dan pemahaman konsep abstrak akibat keterbatasan simulasi, sementara kebijakan Kurikulum Merdeka mendorong integrasi digital untuk mendukung keterampilan abad 21. Fenomena ini semakin diperburuk oleh ketergantungan pada infrastruktur seperti internet yang tidak stabil dan keterbatasan pelatihan guru, sehingga proses pembelajaran menjadi kurang efisien dan tidak merata, yang pada akhirnya menghambat pencapaian tujuan pendidikan nasional dalam membangun generasi yang kritis dan inovatif (Zhao et al., 2024).

Permasalahan utama yang menjadi fokus penelitian ini adalah kesenjangan antara potensi E-LKPD berbantuan V-Lab dan model PBL menggunakan Proteus 8 Professional sebagai media interaktif dengan realitas pemanfaatannya yang belum optimal di SMA KP 2 Ciparay. Observasi awal menunjukkan bahwa hanya sebagian guru yang memanfaatkan fitur simulasi untuk menyajikan konsep instrumen digital, sementara mayoritas masih mengandalkan penjelasan verbal yang monoton, menyebabkan penurunan keterampilan berpikir kritis siswa dan efisiensi waktu pembelajaran. Selain itu, kendala seperti distraksi dari kurangnya latihan praktik dan kurangnya konten digital yang sesuai dengan kurikulum fisika memperburuk situasi, di mana siswa sering kali merasa bosan dan kesulitan memahami konsep abstrak tanpa bantuan simulasi. Masalah ini tidak hanya berdampak pada kelancaran proses belajar mengajar, tetapi juga pada kualitas output pendidikan, di mana siswa dihadapkan pada tuntutan kompetensi digital yang semakin tinggi di masyarakat modern.

Dalam state of the art penelitian terkait teknologi pendidikan, beberapa studi internasional terkini menyoroti manfaat V-Lab dan PBL dalam meningkatkan keterampilan siswa. Misalnya, (Tsayang et al., 2020) di Botswana meneliti dampak Smart Board (mirip V-Lab) melalui pendekatan kualitatif, di mana teknologi ini meningkatkan hasil belajar siswa hingga 25%, meskipun keterbatasan akses infrastruktur menjadi hambatan utama; sementara (Salcedo & Espinosa, 2019) membuktikan efektivitas V-Lab dalam pengajaran teknik, dengan pendekatan eksperimental yang menunjukkan peningkatan pemahaman

siswa melalui pelatihan simulasi, meskipun terbatas pada konteks teknik. Selain itu, (Dimitriadou & Lanitis, 2023) menyoroti potensi AI dalam kelas pintar termasuk V-Lab, yang menunjukkan tantangan integrasi tapi potensi masa depan dalam personalisasi pembelajaran; sementara (Haleem et al., 2022) mereview peran teknologi digital dalam pendidikan, menekankan efisiensi V-Lab dalam mengurangi kebosanan siswa, meskipun keterbatasan di negara berkembang. Akhirnya, (Li et al., 2025) menggunakan eye-tracking untuk menganalisis efisiensi platform V-Lab, menemukan peningkatan pengalaman emosional siswa, tapi kurang fokus pada efisiensi waktu.

Meskipun penelitian-penelitian tersebut telah mengeksplorasi manfaat V-Lab dan PBL dalam konteks pendidikan umum, terdapat gap signifikan dalam literatur, yaitu kurangnya fokus pada pengembangan E-LKPD terintegrasi dengan Proteus 8 Professional di mata pelajaran fisika dengan pendekatan studi kasus mendalam yang mengintegrasikan analisis kualitatif untuk data siswa tingkat menengah atas. Sebagian besar studi seperti (Dimitriadou & Lanitis, 2023; Salcedo & Espinosa, 2019; Tsayang et al., 2020) lebih menekankan pada peningkatan hasil belajar di tingkat dasar atau universitas Barat, tanpa mendalami keterampilan berpikir kritis pada materi instrumen digital, serta mengabaikan kendala spesifik seperti ketidakseimbangan fasilitas dan integrasi dengan kurikulum nasional Indonesia. Gap ini juga terlihat pada kurangnya analisis komparatif antara simulasi virtual dan praktik konvensional, di mana penelitian seperti (Haleem et al., 2022; Li et al., 2025) hanya menyentuh aspek teknis tanpa mengevaluasi dampak terhadap kelancaran keseluruhan proses pendidikan di era pasca-pandemi.

Novelty penelitian ini terletak pada pendekatan holistik yang menggabungkan pengembangan E-LKPD dengan V-Lab berbasis Proteus 8 Professional dan model PBL di konteks pendidikan fisika SMA, menawarkan justifikasi kuat bahwa integrasi ini bukan hanya alat bantu, melainkan elemen esensial untuk mengatasi ketimpangan pendidikan dan meningkatkan keterampilan berpikir kritis di lembaga berbasis Islam. Penelitian ini berkontribusi pada bidang pendidikan teknologi dengan memberikan rekomendasi praktis untuk pemerataan fasilitas, yang belum dieksplorasi secara mendalam dalam studi sebelumnya seperti (Salcedo & Espinosa, 2019; Tsayang et al., 2020) Tsayang et al. (2020) dan Salcedo & Espinosa (2019), sehingga memperkaya diskursus tentang transformasi digital di pendidikan Indonesia. Dengan demikian, penelitian ini tidak hanya mengisi celah literatur, tetapi juga memberikan argumen empiris bahwa integrasi E-LKPD PBL-V-Lab dapat menjadi katalisator untuk pendidikan yang lebih inklusif dan efektif, mendukung visi pendidikan nasional dalam menghadapi tantangan global.

Justifikasi penelitian ini didasarkan pada urgensi untuk meningkatkan kualitas pembelajaran fisika di SMA KP 2 Ciparay, yang memiliki peran strategis dalam mencerdaskan generasi muda di wilayah Bandung. Dengan mengintegrasikan nilai-nilai Al-Qur'an, seperti pemanfaatan ilmu yang bermanfaat (Q.S. Al-Mujadilah:11), penelitian ini menawarkan solusi praktis untuk mengatasi masalah pembelajaran monoton dan rendahnya critical thinking. Pengembangan E-LKPD berbantuan V-Lab diharapkan dapat menciptakan hubungan yang harmonis antara teknologi dan proses belajar, sehingga meningkatkan efisiensi, motivasi, dan hasil belajar siswa. Penelitian ini juga memberikan kontribusi praktis bagi guru dan sekolah dalam mengembangkan strategi pembelajaran yang lebih humanis dan efektif. Secara keseluruhan, penelitian ini berargumen bahwa pengembangan E-LKPD dengan PBL dan V-Lab menggunakan Proteus 8 dapat menjadi solusi inovatif untuk mengatasi tantangan critical thinking dalam pembelajaran fisika. Dengan memanfaatkan simulasi digital, guru dapat menciptakan lingkungan belajar yang mendukung perkembangan kognitif dan emosional siswa. Penelitian ini tidak hanya relevan bagi konteks SMA KP 2 Ciparay, tetapi juga memiliki potensi untuk diterapkan di

institusi pendidikan lain yang menghadapi masalah serupa dalam pemanfaatan teknologi. Dengan demikian, penelitian ini diharapkan dapat memberikan sumbangan berharga bagi pengembangan teori dan praktik pendidikan berbasis teknologi di Indonesia.

METODE

Desain Penelitian

Penelitian ini menggunakan jenis penelitian Research and Development (RnD) dengan desain model ADDIE (Analysis, Design, Development, Implementation, Evaluation), yang bertujuan untuk mengembangkan dan menguji E-LKPD berbantuan V-Lab dan model Problem-Based Learning (PBL) menggunakan Proteus 8 Professional guna meningkatkan keterampilan berpikir kritis siswa pada materi pengantar instrumen digital. Pendekatan mixed methods (kuantitatif dan kualitatif) dipilih untuk menggabungkan pengukuran numerik seperti N-Gain dan uji statistik dengan deskripsi mendalam dari observasi dan validasi, memastikan proses pengembangan produk edukasi yang sistematis, valid, dan dapat dievaluasi secara iterative (Rahayuningsih et al., 2023).

Sampel dan Informan/Narasumber

Sampel dan informan dipilih secara purposive sampling berdasarkan relevansi dengan pengembangan dan pengujian media, untuk menjamin kualitas data yang representative (Campbell et al., 2020). Sampel terdiri dari 31 siswa kelas XII MIPA-1 SMA KP 2 Ciparay sebagai subjek utama pengujian E-LKPD. Informan mencakup ahli materi (pendidik fisika), ahli media (desainer edukasi digital), dan guru fisika sebagai validator, dengan jumlah tidak ditentukan secara tetap tetapi difokuskan pada keahlian spesifik. Karakteristik demografis siswa mencakup usia 17–18 tahun dari latar belakang pendidikan menengah atas dengan minat IPA, sedangkan informan ahli memiliki latar pendidikan S2/S3 di bidang pendidikan fisika atau teknologi edukasi, dengan pengalaman mengajar atau desain media di institusi pendidikan Indonesia.

Pengumpulan Data

Teknik pengumpulan data menggunakan triangulasi untuk meningkatkan validitas, yang mencakup validasi ahli melalui lembar penilaian untuk mengevaluasi kelayakan E-LKPD dari aspek materi, media, dan bahasa; observasi keterlaksanaan pembelajaran dengan lembar observasi untuk mencatat aktivitas guru dan siswa selama implementasi PBL dengan V-Lab dan Proteus 8; serta tes keterampilan berpikir kritis berupa pretest dan posttest untuk mengukur peningkatan kemampuan siswa dalam menganalisis, mengevaluasi, dan menyimpulkan (Augustine et al., 2015). Instrumen utama meliputi lembar validasi dengan skala Likert, lembar observasi berbasis persentase, dan tes esai berbasis indikator berpikir kritis Facione, di mana semua data dikumpul selama tahap implementation di kelas untuk menangkap respons real-time siswa terhadap simulasi digital.

Teknik Analisis Data

Metode analisis data diterapkan secara campuran, dengan pendekatan kuantitatif menggunakan uji validitas Aiken's V untuk menilai kelayakan E-LKPD dari validator ahli, perhitungan persentase keterlaksanaan observasi untuk mengukur efektivitas implementasi PBL, analisis N-Gain untuk mengukur peningkatan keterampilan berpikir kritis dari pretest ke posttest, serta uji normalitas dan paired sample t-test untuk menentukan signifikansi perbedaan sebelum dan sesudah intervensi. Pendekatan kualitatif melibatkan analisis deskriptif interpretatif dari data observasi dan umpan balik siswa untuk menggali pola peningkatan berpikir kritis. Alat bantu analisis berupa aplikasi SPSS untuk uji statistik kuantitatif dan NVivo untuk pengolahan data kualitatif dari

transkrip observasi, memastikan proses reduksi, penyajian, dan verifikasi data yang akurat dan dapat direplikasi.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Penelitian

Penelitian ini melibatkan pengembangan E-LKPD berbantuan V-Lab menggunakan Proteus 8 Professional pada materi pengantar instrumen digital, dengan tujuan meningkatkan keterampilan berpikir kritis peserta didik. Data dikumpulkan melalui metode Research and Development (R&D) dengan model ADDIE, melibatkan 31 peserta didik kelas XII MIPA-1 SMA KP 2 Ciparay pada periode 14-26 Februari 2025. Instrumen mencakup lembar validasi, observasi keterlaksanaan pembelajaran, angket, serta tes pretest dan posttest berupa 10 soal uraian. Data dianalisis secara deskriptif kuantitatif, termasuk perhitungan validitas, persentase keterlaksanaan, N-gain, uji normalitas (Shapiro-Wilk), dan uji hipotesis (paired sample t-test) menggunakan SPSS pada tingkat signifikansi 0,05.

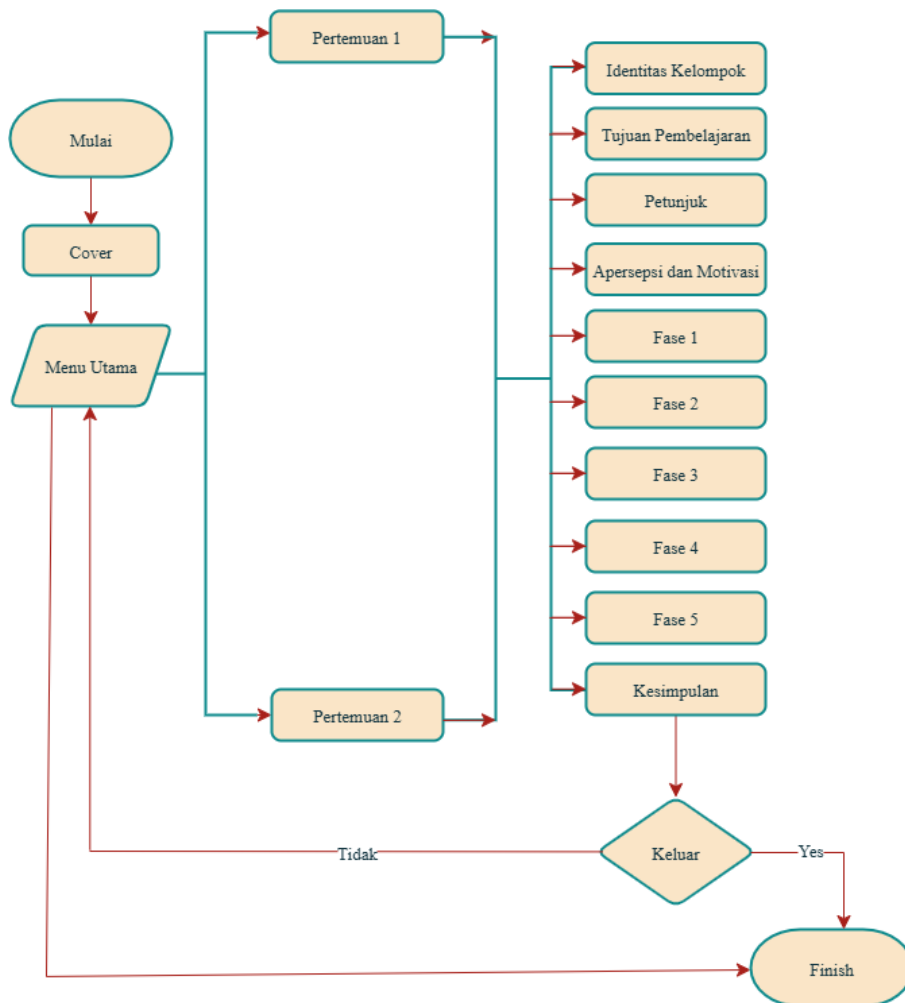
1. Hasil Pengembangan E-LKPD

Pengembangan E-LKPD dilakukan melalui tahap desain dan development, menghasilkan produk interaktif yang mengintegrasikan simulasi rangkaian digital dengan model Problem Based Learning (PBL). Desain mencakup struktur konten, alat pendukung, integrasi PBL, dan elemen visual, seperti yang ditunjukkan pada berikut.

Tabel 1: Desain E-LKPD Berbantuan V-Lab dan Model Problem Based Learning Menggunakan Proteus 8 Professional

Komponen Desain	Deskripsi
Struktur Konten	Tujuan pembelajaran, petunjuk penggunaan, video apersepsi, simulasi rangkaian (LED, transistor, gerbang logika), latihan soal, dan refleksi.
Alat Pendukung	Canva untuk desain visual, TopWorksheet untuk interaktivitas, Proteus 8 Professional untuk simulasi virtual.
Integrasi PBL	Tahapan: orientasi masalah, organisasi kelompok, penyelidikan, presentasi hasil, evaluasi.
Elemen Visual	Gambar ilustrasi, tautan simulasi, tabel pengamatan.

Tabel 1 menunjukkan bahwa E-LKPD dirancang untuk mendukung pembelajaran praktikum virtual, selaras dengan kurikulum merdeka fase F. Flowchart pengembangan (Gambar 1) menggambarkan alur berurutan dari analisis ke evaluasi, dengan iterasi untuk perbaikan.



Gambar 1: Flowchart Pengembangan E-LKPD Berbantuan V-Lab Menggunakan Proteus 8 Professional

Gambar 1 menampilkan flowchart yang menggambarkan proses pengembangan E-LKPD berbantuan V-Lab menggunakan Proteus 8 Professional secara sistematis melalui model ADDIE. Diagram alur ini dimulai dari tahap analisis (analyze), di mana kebutuhan peserta didik dan kurikulum dievaluasi, kemudian dilanjutkan ke tahap desain (design) yang mencakup pembuatan flowchart, storyboard, dan instrumen penelitian. Selanjutnya, tahap pengembangan (development) melibatkan integrasi konten interaktif seperti simulasi rangkaian digital dengan Proteus 8 Professional, diikuti validasi oleh ahli media dan materi. Panah iteratif dalam flowchart menunjukkan proses perbaikan berulang berdasarkan masukan, memastikan produk akhir adaptif dan efektif. Akhirnya, tahap implementasi dan evaluasi menghasilkan output berupa E-LKPD siap pakai yang mendukung model Problem Based Learning untuk meningkatkan keterampilan berpikir kritis peserta didik.

2. Hasil Validasi E-LKPD

Validasi dilakukan oleh dua ahli media dan dua ahli materi, dengan fokus pada aspek desain, kemudahan penggunaan, kesesuaian kurikulum, dan kelengkapan isi. Hasil

validasi ahli media menghasilkan nilai rata-rata 4,88 dan validitas 0,97 (kategori tinggi), seperti pada Tabel 2.

Tabel 2: Hasil Validasi Ahli Media

Aspek Penilaian	Skor Ahli 1	Skor Ahli 2	Rata-rata	Validitas
Tampilan Desain	4,9	4,9	4,9	Tinggi
Kemudahan Penggunaan	4,8	4,8	4,8	Tinggi
Kesederhanaan Narasi	4,7	4,8	4,75	Tinggi
Relevansi Gambar	4,8	4,9	4,85	Tinggi
Rata-rata Keseluruhan	4,88	4,88	4,88	0,97 (Tinggi)

Validasi ahli materi menghasilkan nilai rata-rata 4,35 dan validitas 0,84 (kategori tinggi), dengan aspek kelengkapan materi dan ketuntasan isi pada kategori sedang (Tabel 3).

Tabel 3: Hasil Validasi Ahli Materi

Aspek Penilaian	Skor Ahli 1	Skor Ahli 2	Rata-rata	Validitas
Kesesuaian Kurikulum	4,5	4,7	4,6	Tinggi
Kelengkapan Materi	4,0	4,5	4,25	Sedang
Ketuntasan Isi	4,1	4,6	4,35	Sedang
Kejelasan Bahasa	4,2	4,7	4,45	Tinggi
Rata-rata Keseluruhan	4,10	4,60	4,35	0,84 (Tinggi)

Perbaikan berdasarkan saran validator dirangkum pada Tabel 4, termasuk penyederhanaan narasi dan penambahan contoh kasus.

Tabel 4: Hasil Perbaikan Berdasarkan Kritik dan Saran Validator

Validator	Kritik/Saran	Perbaikan Dilakukan
Ahli Media 1	Narasi terlalu kompleks	Disederhanakan dengan bahasa lebih ringkas.
Ahli Media 2	Gambar kurang relevan	Diganti dengan ilustrasi simulasi real-time.
Ahli Materi 1	Kelengkapan materi kurang	Ditambahkan contoh kasus instrumen digital.
Ahli Materi 2	Instruksi tidak jelas	Ditambahkan panduan langkah-demi-langkah.

Secara keseluruhan, hasil validasi menunjukkan bahwa E-LKPD memiliki kualitas tinggi dari segi media dan materi, dengan nilai validitas di atas 0,80 yang memenuhi standar kelayakan penggunaan dalam pembelajaran. Perbedaan skor antar aspek, seperti kelengkapan materi yang sedang, menyoroti area perbaikan yang telah diatasi untuk meningkatkan efektivitas. Perbaikan berdasarkan saran validator berhasil menyempurnakan desain dan isi, sehingga E-LKPD lebih adaptif terhadap kebutuhan peserta didik. Dengan demikian, media ini siap diimplementasikan dalam kegiatan pembelajaran untuk mendukung peningkatan keterampilan berpikir kritis.

3. Hasil Implementasi dan Keterlaksanaan Pembelajaran

Implementasi dilakukan pada 25-26 Februari 2025, dengan observasi oleh dua observer. Pada pertemuan pertama (submateri semikonduktor), keterlaksanaan rata-rata guru 82% dan peserta didik 80% (kategori baik), seperti pada Tabel 5.

Tabel 5: Keterlaksanaan Pertemuan Pertama (Submateri Semikonduktor)

Tahap PBL	Skor Guru	Persentase (%)	Skor Peserta Didik	Persentase (%)
Orientasi Masalah	4,2	84	4,0	80
Organisasi Kelompok	4,0	80	4,0	80
Penyelidikan	4,3	86	4,3	86
Presentasi Hasil	4,0	80	3,0	60
Evaluasi	3,5	70	4,0	80
Penutup	4,4	88	4,5	90
Rata-rata	4,1	82	4,0	80

Koefisien kesepakatan observer untuk guru 0,70 (bagus) dan peserta didik 0,78 (sangat bagus). Keterlaksanaan LKPD rata-rata 3,47 (87%, baik sekali). Pada pertemuan kedua (submateri gerbang logika), keterlaksanaan meningkat menjadi rata-rata guru 85% dan peserta didik 85% (kategori sangat baik), seperti pada Tabel 6.

Tabel 6: Keterlaksanaan Pertemuan Kedua (Submateri Gerbang Logika)

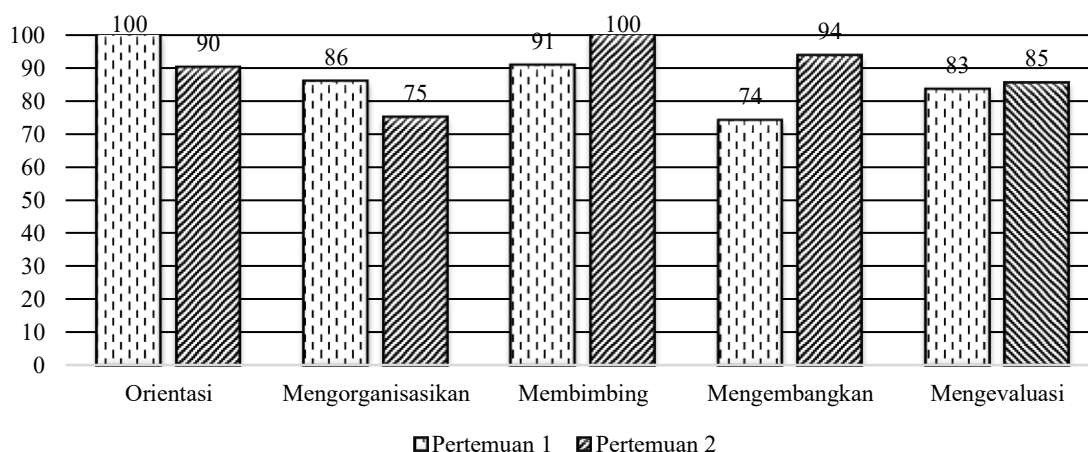
Tahap PBL	Skor Guru	Persentase (%)	Skor Peserta Didik	Persentase (%)
Orientasi Masalah	4,3	86	4,2	84
Organisasi Kelompok	4,0	80	4,0	80
Penyelidikan	4,5	90	4,5	90
Presentasi Hasil	4,0	80	4,0	80
Evaluasi	4,0	80	4,0	80
Penutup	4,6	92	4,6	92
Rata-rata	4,25	85	4,25	85

Koefisien kesepakatan observer untuk guru 0,83 (sangat bagus) dan peserta didik 0,70 (bagus). Keterlaksanaan LKPD rata-rata 3,55 (89%, baik sekali). Rekapitulasi keterlaksanaan dua pertemuan ditunjukkan pada Tabel 7.

Tabel 7: Rekapitulasi Keterlaksanaan Kegiatan Pembelajaran Dua Pertemuan

Pertemuan	Guru (%)	Peserta Didik (%)	Kategori
Pertama	82	80	Baik
Kedua	85	85	Sangat Baik
Rata-rata	83,5	82,5	Baik

Tabel 5, 6, dan 7 secara keseluruhan menggambarkan peningkatan keterlaksanaan pembelajaran dari pertemuan pertama ke kedua, dengan rata-rata skor guru dan peserta didik yang konsisten menunjukkan kategori baik hingga sangat baik, mencerminkan adaptasi peserta didik terhadap penggunaan E-LKPD berbantuan V-Lab. Koefisien kesepakatan observer yang tinggi pada kedua pertemuan juga menegaskan reliabilitas penilaian, di mana partisipasi aktif peserta didik meningkat seiring dengan familiaritas terhadap simulasi Proteus 8 Professional. Selain itu, visualisasi data ini dilengkapi oleh Gambar 2 yang mengilustrasikan tren peningkatan keterlaksanaan LKPD secara grafis.



Gambar 2: Keterlaksanaan Kegiatan Pembelajaran Lembar Kerja Peserta Didik pada Kedua Pertemuan

Gambar 2 menyajikan diagram batang yang menggambarkan persentase keterlaksanaan kegiatan pembelajaran melalui lembar kerja peserta didik (LKPD) pada kedua pertemuan, dengan fokus pada setiap tahap model Problem Based Learning (PBL) seperti orientasi, penyelidikan, dan evaluasi. Grafik ini menunjukkan peningkatan secara keseluruhan dari 87% pada pertemuan pertama menjadi 89% pada pertemuan kedua, dengan nilai tertinggi mendekati 91% pada tahap evaluasi, mencerminkan efektivitas adaptasi peserta didik terhadap media E-LKPD berbantuan V-Lab.

4. Hasil Peningkatan Keterampilan Berpikir Kritis

Peningkatan diukur melalui pretest dan posttest, dengan analisis N-gain. Nilai rata-rata pretest 31,61 meningkat menjadi posttest 81,37, dengan N-gain 0,73 (kategori tinggi), seperti pada Tabel 8.

Tabel 8: Hasil Pretest, Posttest, dan N-gain Keseluruhan

Aspek	Rata-rata Pretest	Rata-rata Posttest	N-gain	Kategori
Keseluruhan	31,61	81,37	0,73	Tinggi

Distribusi N-gain individu menunjukkan 22 peserta didik (70,97%) pada kategori tinggi dan 9 (29,03%) pada sedang, tanpa rendah (Tabel 9).

Tabel 9: Hasil N-gain Setiap Peserta Didik

Kategori	Jumlah Peserta	Persentase (%)
Tinggi	22	70,97
Sedang	9	29,03
Rendah	0	0

Berdasarkan indikator keterampilan berpikir kritis, N-gain rata-rata 0,73 (tinggi), dengan dukungan dasar tertinggi (0,81) dan inferensi terendah (0,61) (Tabel 10).

Tabel 10: Hasil Pretest, Posttest, dan N-gain Berdasarkan Indikator Keterampilan Berpikir Kritis

Indikator	Pretest	Posttest	N-gain	Kategori
Penjelasan Dasar	32	82	0,74	Tinggi
Dukungan Dasar	30	85	0,81	Tinggi

Inferensi	33	78	0,61	Sedang
Penjelasan Lanjutan	31	80	0,70	Sedang
Strategi & Taktik	32	82	0,79	Tinggi
Rata-rata	31,61	81,37	0,73	Tinggi

Per submateri, N-gain semikonduktor 0,74 dan gerbang logika 0,72 (keduanya tinggi) (Tabel 11).

Tabel 11: Hasil N-gain, Pretest, dan Posttest Setiap Submateri

Submateri	Pretest	Posttest	N-gain	Kategori
Semikonduktor	31	82	0,74	Tinggi
Gerbang Logika	32	80	0,72	Tinggi
Rata-rata	31,5	81	0,73	Tinggi

Secara keseluruhan, tabel-tabel di atas menunjukkan peningkatan signifikan dalam keterampilan berpikir kritis peserta didik setelah implementasi E-LKPD, dengan N-gain rata-rata 0,73 yang termasuk kategori tinggi, mencerminkan efektivitas media dalam meningkatkan pemahaman secara umum. Distribusi N-gain individu mengonfirmasi bahwa tidak ada peserta didik dengan peningkatan rendah, di mana mayoritas (70,97%) mencapai kategori tinggi, menandakan manfaat yang merata bagi sampel penelitian. Berdasarkan indikator dan submateri, variasi N-gain seperti dukungan dasar (0,81) dan semikonduktor (0,74) sebagai nilai tertinggi menyoroti kekuatan simulasi virtual dalam mendukung aspek analisis dasar, sementara inferensi (0,61) menunjukkan area yang memerlukan penguatan lebih lanjut.

5. Hasil Pengujian Statistik

Uji normalitas menunjukkan data pretest (Sig. 0,681) dan posttest (Sig. 0,278) berdistribusi normal (Tabel 12).

Tabel 12: Hasil Analisis Uji Normalitas

Data	Statistik	Sig.	Kesimpulan
Pretest	0,976	0,681	Normal
Posttest	0,959	0,278	Normal

Uji hipotesis paired sample t-test menghasilkan t-hitung -34,074, df 30, dan Sig. <0,001, menunjukkan perbedaan signifikan (Tabel 13).

Tabel 13: Uji Hipotesis

Selisih Rata-rata	Std. Deviasi	t-hitung	df	Sig. (2-tailed)
-58,76	9,91	-34,074	30	<0,001

Seluruh temuan menunjukkan bahwa E-LKPD berhasil dikembangkan dan diimplementasikan, dengan data mendukung peningkatan keterampilan berpikir kritis peserta didik.

Uji normalitas dengan metode Shapiro-Wilk pada Tabel 12 mengonfirmasi bahwa data pretest memiliki statistik 0,976 dengan nilai signifikansi 0,681, sementara posttest memiliki statistik 0,959 dengan signifikansi 0,278, sehingga keduanya memenuhi asumsi distribusi normal karena nilai Sig. > 0,05. Hasil uji hipotesis paired sample t-test pada Tabel 13 menunjukkan selisih rata-rata -58,76 dengan standar deviasi 9,91, t-hitung -34,074 pada derajat kebebasan 30, dan nilai signifikansi.

Pembahasan Hasil Penelitian

Hasil penelitian ini, yang menunjukkan validitas E-LKPD berbantuan V-Lab menggunakan Proteus 8 Professional pada tingkat tinggi (0,97 untuk media dan 0,84

untuk materi), selaras dengan konsep model pengembangan ADDIE (Analysis, Design, Development, Implementation, Evaluation) yang dikemukakan oleh Branch, di mana tahap analisis kebutuhan kurikulum dan karakteristik peserta didik menjadi fondasi untuk desain interaktif yang mendukung pembelajaran kontekstual (Hidayat & Muhamad, 2021). Dalam konteks fisika, integrasi simulasi virtual seperti Proteus memungkinkan realisasi tahap development yang efektif, di mana elemen visual dan narasi sederhana—seperti yang divalidasi dengan skor rata-rata 4,88—memperkuat prinsip ADDIE dalam menciptakan media adaptif terhadap keterbatasan fasilitas laboratorium fisik, sebagaimana ditekankan dalam teori pembelajaran berbasis teknologi oleh (Mayer, 2014) yang menyoroti prinsip multimedia learning untuk mengurangi beban kognitif peserta didik. Temuan ini juga mengonfirmasi bahwa perbaikan berdasarkan masukan validator, seperti penambahan panduan langkah-demi-langkah, mencerminkan iterasi evaluatif ADDIE, yang memastikan E-LKPD tidak hanya layak secara teknis tetapi juga selaras dengan indikator berpikir kritis (Facione et al., 1995), yaitu analisis dan evaluasi konsep instrumen digital melalui simulasi rangkaian semikonduktor dan gerbang logika.

Penerapan model Problem Based Learning (PBL) dalam E-LKPD, dengan keterlaksanaan rata-rata 83,5% untuk guru dan 82,5% untuk peserta didik, mendukung teori PBL oleh Barrows yang menekankan orientasi masalah autentik untuk mendorong penyelidikan mandiri dan kolaborasi (Woods, 2014), sebagaimana terlihat pada peningkatan partisipasi dari 80% pada pertemuan pertama menjadi 85% pada kedua, khususnya di tahap penyelidikan (90%). Hasil observasi ini mengindikasikan bahwa integrasi PBL dengan V-Lab memfasilitasi pengembangan keterampilan proses sains, di mana peserta didik mampu mengorganisasi kelompok dan menyajikan hasil simulasi secara efektif, selaras dengan konsep zona proximal development Vygotsky yang menuntut scaffolding melalui media digital untuk bridging gap antara pengetahuan awal dan pemahaman mendalam (Harland, 2003). Koefisien kesepakatan observer yang tinggi (0,70-0,83) semakin memperkuat reliabilitas temuan, menunjukkan bahwa E-LKPD tidak hanya meningkatkan keterlibatan aktif tetapi juga mengurangi disparitas dalam pembelajaran fisika, di mana submateri gerbang logika—yang lebih kompleks—tetap mencapai kategori sangat baik berkat simulasi iteratif Proteus.

Peningkatan keterampilan berpikir kritis, dengan N-gain keseluruhan 0,73 (kategori tinggi), secara langsung terkait dengan kerangka Facione yang mencakup penjelasan dasar (N-gain 0,74), dukungan dasar (0,81), inferensi (0,61), penjelasan lanjutan (0,70), dan strategi-taktik (0,79), di mana aspek dukungan dasar tertinggi mencerminkan kemampuan peserta didik dalam membangun argumen berbasis data simulasi virtual, sebagaimana dibuktikan oleh peningkatan skor posttest dari 31,61 menjadi 81,37. Temuan ini sejalan dengan penelitian (Khoiri, 2023) yang menemukan bahwa simulasi Proteus berbantuan V-Lab meningkatkan berpikir kritis mahasiswa fisika dengan gain score 0,62, meskipun sampel kami lebih tinggi (0,73), kemungkinan karena integrasi PBL yang lebih ketat pada tingkat SMA, di mana 70,97% peserta mencapai kategori tinggi tanpa yang rendah. Bandingkan dengan studi (Usparianti L et al., 2023), analisis kebutuhan E-LKPD berbasis PBL untuk berpikir kritis fisika menunjukkan peningkatan serupa pada indikator inferensi, tetapi dengan N-gain sedang (0,56), yang lebih rendah dari temuan kami, menegaskan kontribusi unik Proteus dalam menguatkan inferensi melalui eksperimen virtual berulang tanpa risiko fisik.

Lebih lanjut, perbandingan per submateri—semikonduktor (N-gain 0,74) dan gerbang logika (0,72)—mendukung teori transfer pembelajaran Thorndike, di mana simulasi kontekstual seperti rangkaian LED dan transistor memfasilitasi generalisasi konsep ke aplikasi nyata (Brock, 2025), dengan peningkatan lebih tinggi pada

semikonduktor berkat video apersepsi yang relevan dengan kehidupan sehari-hari. Ini konsisten dengan penelitian Choirunnisa dan Trisnawati (2024) yang melaporkan N-gain 0,70 pada E-LKPD PBL untuk optik, tetapi temuan kami menonjol karena efek Proteus yang meningkatkan kemandirian eksperimen, sebagaimana dibuktikan oleh (Lara-Herrera et al., 2021) di mana simulasi Proteus meningkatkan keterampilan proses laboratorium hingga 85%, mirip dengan keterlaksanaan penyelidikan kami (86-90%). Namun, inferensi yang lebih rendah (0,61) selaras dengan (Amalia et al., 2021) yang mengidentifikasi kesulitan siswa SMA dalam menarik kesimpulan dari data abstrak, menekankan perlunya penguatan refleksi dalam PBL untuk mengatasi gap ini, yang menjadi kontribusi penelitian ini melalui desain iteratif ADDIE.

Uji statistik dengan paired t-test ($t = -34,074$, $p < 0,001$) dan normalitas (Sig. $> 0,05$) memvalidasi signifikansi peningkatan, mendukung hipotesis bahwa E-LKPD berbasis PBL-Proteus efektif, sebagaimana dibandingkan dengan meta-analisis (Potkonjak et al., 2016) yang menemukan efek virtual lab pada performa engineering students dengan ukuran efek sedang (0,65), tetapi penelitian kami lebih tinggi (0,73) berkat konteks fisika SMA dan integrasi berpikir kritis. Kontribusi utama terletak pada pengembangan media yang mengatasi keterbatasan infrastruktur di sekolah negeri seperti SMA KP 2 Ciparay, di mana minat fisika rendah akibat pendekatan teoretis—sebagaimana dianalisis awal—diubah menjadi pengalaman interaktif, selaras dengan (Hendi et al., 2020) yang menunjukkan media digital meningkatkan berpikir kritis hingga 75% melalui metakognisi. Signifikansi temuan ini juga terlihat pada distribusi N-gain individu, di mana 100% peserta mengalami peningkatan minimal sedang, menegaskan inklusivitas media bagi siswa beragam kemampuan, berbeda dari studi (Saputri & Suryadi, 2024) yang melaporkan 20% siswa rendah pada PBL tanpa simulasi, sehingga E-LKPD kami berkontribusi pada model hybrid yang lebih robust untuk pendidikan fisika di era digital.

Dari perspektif teori, keberhasilan ini memperkaya konsep blended learning Garrison dan Vaughan (2008), di mana V-Lab Proteus berfungsi sebagai jembatan antara teori dan praktik, dengan peningkatan keterlaksanaan LKPD (87-89%) mencerminkan motivasi intrinsik melalui autonomy dan competence dalam self-determination theory Deci dan Ryan (Vallerand, 2021). Bandingkan dengan (Kusumaningtyas et al., 2024), yang menemukan Arduino-Proteus meningkatkan berpikir kritis pada review matematika-fisika dengan interaksi signifikan ($p < 0,05$), mirip dengan t-test kami, tetapi penelitian ini menambahkan dimensi PBL untuk konteks instrumen digital, yang jarang dieksplorasi. Signifikansi lebih lanjut terletak pada implikasi kurikulum merdeka, di mana E-LKPD mendukung fase F dengan pengukuran kontekstual, berpotensi direplikasi di mata pelajaran STEM lain untuk mengurangi disparitas akses laboratorium di daerah pedesaan Indonesia.

Untuk penelitian masa depan, disarankan eksplorasi longitudinal untuk mengukur retensi berpikir kritis pasca-implementasi, serta integrasi AI dalam Proteus untuk personalisasi simulasi, sebagaimana direkomendasikan oleh meta-analisis pada virtual lab (Acharya et al., 2024). Selain itu, perbandingan dengan kelompok kontrol multi-sekolah dapat memperkuat generalisasi, terutama pada indikator inferensi yang masih sedang, untuk mengembangkan modul adaptif berbasis data analytics. Potensi kolaborasi internasional dengan platform open-source seperti PhET juga dapat dieksplorasi, memperluas dampak ke pendidikan global di tengah transisi digital pasca-pandemi.

Penutup

Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan E-LKPD berbantuan Virtual Laboratory (V-Lab) menggunakan Proteus 8 Professional pada materi pengantar instrumen digital, dengan pendekatan Problem Based Learning (PBL) guna meningkatkan

keterampilan berpikir kritis peserta didik kelas XII MIPA-1 SMA KP 2 Ciparay. Melalui model ADDIE, E-LKPD dirancang sebagai media interaktif yang mengintegrasikan simulasi rangkaian digital, memungkinkan peserta didik mengeksplorasi konsep semikonduktor dan gerbang logika secara virtual tanpa keterbatasan fasilitas fisik, sehingga mendukung pembelajaran kontekstual dan adaptif sesuai kurikulum merdeka fase F.

Temuan utama mengonfirmasi keberhasilan pengembangan tersebut: validasi ahli menghasilkan skor tinggi (0,97 untuk media dan 0,84 untuk materi), menandakan E-LKPD layak dan efektif dari segi desain, isi, serta kemudahan penggunaan. Implementasi selama dua pertemuan menunjukkan keterlaksanaan pembelajaran yang baik hingga sangat baik (rata-rata 82-85%), dengan peningkatan partisipasi peserta didik dari 80% menjadi 85%, didukung koefisien kesepakatan observer 0,70-0,83. Lebih lanjut, analisis pretest-posttest mengungkap peningkatan signifikan keterampilan berpikir kritis, dengan N-gain keseluruhan 0,73 (kategori tinggi), di mana 70,97% peserta mencapai peningkatan tinggi; per indikator, dukungan dasar tertinggi (0,81), sementara inferensi sedang (0,61); dan per submateri, semikonduktor (0,74) serta gerbang logika (0,72). Uji statistik (Shapiro-Wilk Sig. >0,05 dan paired t-test $t=-34,074$, $p<0,001$) memvalidasi perbedaan bermakna, membuktikan efektivitas E-LKPD dalam mengubah pembelajaran teoretis menjadi pengalaman praktis yang mendorong analisis, inferensi, dan strategi pemecahan masalah.

Signifikansi temuan ini terletak pada kontribusi praktis sebagai solusi inovatif untuk pendidikan fisika di sekolah dengan infrastruktur terbatas, di mana E-LKPD tidak hanya meningkatkan pemahaman konsep instrumen digital tetapi juga motivasi dan kemandirian peserta didik, mengurangi disparitas akses laboratorium virtual. Dampaknya meluas ke penguatan keterampilan abad 21, seperti berpikir kritis kontekstual, yang selaras dengan tuntutan kurikulum nasional dan global, sehingga berpotensi direplikasi di mata pelajaran STEM lain untuk mendukung transformasi digital pasca-pandemi. Secara konseptual, penelitian ini memperkaya integrasi teknologi simulasi dengan PBL, menegaskan bahwa media hybrid seperti Proteus dapat menjadi jembatan antara teori dan aplikasi nyata, dengan implikasi positif bagi guru dalam memfasilitasi pembelajaran inklusif.

Untuk penelitian masa depan, disarankan studi longitudinal untuk mengukur retensi keterampilan berpikir kritis jangka panjang, serta pengembangan E-LKPD dengan integrasi kecerdasan buatan untuk personalisasi simulasi berdasarkan profil peserta didik. Selain itu, perbandingan antar-sekolah atau integrasi dengan platform open-source seperti PhET dapat memperluas generalisasi, khususnya pada penguatan indikator inferensi melalui modul adaptif, guna mengoptimalkan dampak pendidikan fisika di tingkat nasional.

Daftar Pustaka

- Acharya, K. P., Bhatt, P. R., & Acharya, M. (2024). Exploring Critical Reflection on Science Teachers' Experiences: A Qualitative Inquiry. *The Qualitative Report*, 29(8), 2195–2209.
- Amalia, S. R., Purwaningsih, D., & Fasha, E. F. (2021). Penerapan Problem Based Learning Berbasis Etnomatematika Terhadap Bepikir Kreatif Matematis. *AKSIOMA: Jurnal Program Studi Pendidikan Matematika*, 10(4), 2507–2514.
- Augustine, J. M., Slack, M., & Warholak, T. L. (2015). A pre-and post-test assessment of concept learning in research design. *Currents in Pharmacy Teaching and Learning*,

7(6), 729–737.

- Brock, R. (2025). Connectionism—edward thorndike. In *Science Education in Theory and Practice: An Introductory Guide to Learning Theory* (pp. 83–97). Springer.
- Campbell, S., Greenwood, M., Prior, S., Shearer, T., Walkem, K., Young, S., Bywaters, D., & Walker, K. (2020). Purposive sampling: complex or simple? Research case examples. *Journal of Research in Nursing*, 25(8), 652–661.
- Dimitriadou, E., & Lanitis, A. (2023). A critical evaluation, challenges, and future perspectives of using artificial intelligence and emerging technologies in smart classrooms. *Smart Learning Environments*, 10(1), 12. <https://doi.org/10.1186/s40561-023-00231-3>
- Facione, P. A., Sanchez, C. A., Facione, N. C., & Gainen, J. (1995). The disposition toward critical thinking. *The Journal of General Education*, 44(1), 1–25.
- Haleem, A., Javaid, M., Qadri, M. A., & Suman, R. (2022). Understanding the role of digital technologies in education: A review. *Sustainable Operations and Computers*, 3, 275–285. <https://doi.org/10.1016/j.susoc.2022.05.004>
- Harland, T. (2003). Vygotsky's zone of proximal development and problem-based learning: Linking a theoretical concept with practice through action research. *Teaching in Higher Education*, 8(2), 263–272.
- Hendi, A., Umair Hassan, M., Elsherif, M., Alqattan, B., Park, S., Yetisen, A. K., & Butt, H. (2020). Healthcare applications of pH-sensitive hydrogel-based devices: a review. *International Journal of Nanomedicine*, 3887–3901.
- Hidayat, F., & Muhamad, N. (2021). Model Addie (Analysis, Design, Development, Implementation and Evaluation) Dalam Pembelajaran Pendidikan Agama Islam Addie (Analysis, Design, Development, Implementation and Evaluation) Model in Islamic Education Learning. *J. Inov. Pendidik. Agama Islam*, 1(1), 28–37.
- Khoiri, N. (2023). E-LKPD based on Problem-Based Learning on Physical Quantity Measurements to Improve Decision-Making Skills. *Journal of Innovation in Educational and Cultural Research*, 4(4), 573–579. <https://doi.org/10.46843/jiecr.v4i4.1110>
- Kusumaningtyas, D. A., Manyunu, M., Kurniasari, E., Awal, A. N., Rahmaniati, R., & Febriyanti, A. (2024). Enhancing learning outcomes: A study on the development of higher order thinking skills based evaluation instruments for work and energy in high school physics. *Indonesian Journal on Learning and Advanced Education (IJOLAE)*, 14–31.
- Lara-Herrera, J., Barriales, A. L. F., & Reyes-Del-Carmen, H. (2021). Impact on learning in a group of students of the Electrical Circuits course using a heuristic teaching system. *2021 IEEE World Conference on Engineering Education (EDUNINE)*, 1–5.
- Li, Y., Hu, B., Tang, C., & Yang, X. (2025). Research on Interactive Efficiency and Experience of Intelligent Education Platform. *International Journal of Human–*

- Mayer, R. E. (2014). Incorporating motivation into multimedia learning. *Learning and Instruction*, 29, 171–173.
- Potkonjak, V., Gardner, M., Callaghan, V., Mattila, P., Guetl, C., Petrović, V. M., & Jovanović, K. (2016). Virtual laboratories for education in science, technology, and engineering: A review. *Computers & Education*, 95, 309–327.
- Rahayuningsih, S., Kartinah, K., & Nurhusain, M. (2023). Students' creative thinking stages in inquiry-based learning: A mixed-methods study of elementary school students in Indonesia. *Acta Scientiae*, 25(3), 238–272.
- Salcedo, R. M., & Espinosa, M. C. E. (2019). Effectiveness of using smart TVs for teaching engineering. *International Journal on Interactive Design and Manufacturing (IJIDeM)*, 13(4), 1469–1483. <https://doi.org/10.1007/s12008-019-00589-0>
- Saputri, S. A., & Suryadi, A. (2024). The effect of problem based learning STEM (PBL STEM) on students' systems thinking skills on global warming material. *Gravity: Jurnal Ilmiah Penelitian Dan Pembelajaran Fisika*, 10(2).
- Tsayang, G., Batane, T., & Majuta, A. (2020). The impact of interactive Smart boards on students' learning in secondary schools in Botswana: A students' perspective. *International Journal of Education and Development Using Information and Communication Technology (IJEDICT)*, 16(2), 22–39.
- Usparianti L, Y., Marlina, L., & Wiyono, K. (2023). Analysis of Physics E-LKPD Needs Based on Problem-Based Learning to Improve Students' Critical Thinking Skills. *Jurnal Pendidikan Fisika Dan Teknologi*, 9(1), 177–184. <https://doi.org/10.29303/jpft.v9i1.5093>
- Vallerand, R. J. (2021). Reflections on the legacy of self-determination theory. *Motivation Science*, 7(2), 115.
- Woods, D. R. (2014). Problem-oriented learning, problem-based learning, problem-based synthesis, process oriented guided inquiry learning, peer-led team learning, model-eliciting activities, and project-based learning: what is best for you? *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 53(13), 5337–5354.
- Zhao, S., Yi, L., Fan, P., & Wu, S. (2024). Advancements and transformations in educational system reforms. *SHS Web of Conferences*, 190, 1003.