



Development of Interactive Books Assisted by PhET-STEM Electrical Circuit Simulations: Improving Critical Thinking Skills in Elementary Schools Students

Pengembangan Buku Interaktif Berbantuan Simulasi PhET-STEM Rangkaian Listrik: Peningkatkan Keterampilan Berpikir Kritis Siswa Sekolah Dasar

¹Lola Aulia Putri, ²Aan Widiyono

Universitas Islam Nahdlatul Ulama Jepara

e-mail: 1221330001012@unisnu.ac.id

Abstract

The limited availability of interactive learning media that integrates the Science, Technology, Engineering, and Mathematics (STEM) approach remains an obstacle in efforts to improve the critical thinking skills of elementary school students. This study aims to develop a STEM-based interactive book integrated with PhET simulations on electrical circuit material to improve the critical thinking skills of students at Al Islam Pengkol Elementary School. The method used in this study was Research and Development (R&D) with the ADDIE model, which includes the stages of Analysis, Design, Develop, Implement, and Evaluate. The research subjects included fifth-grade students and science teachers. Data collection techniques were carried out through validation sheets by subject matter experts and media experts, student and teacher response questionnaires, and critical thinking skills tests, which were then analyzed using a quantitative descriptive approach. The validation results showed that the interactive book developed was in the highly feasible category. In addition, the trial results showed a significant increase in students' critical thinking skills after using the interactive book assisted by PhET simulations. Thus, this STEM-based interactive book is recommended as an effective learning medium for integrating science, technology, engineering, and mathematics concepts contextually at the elementary school level.

Keywords: *Critical Thinking, Interactive Books, PhET, Electrical Circuits, STEM*

Abstrak

Keterbatasan ketersediaan media pembelajaran interaktif yang mengintegrasikan pendekatan *Science, Technology, Engineering, and Mathematics* (STEM) masih menjadi hambatan dalam upaya meningkatkan keterampilan berpikir kritis siswa sekolah dasar. Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan buku interaktif berbasis STEM yang terintegrasi dengan simulasi PhET pada materi rangkaian listrik guna meningkatkan keterampilan berpikir kritis siswa di SD Al Islam Pengkol. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah *Research and Development* (R&D) dengan model ADDIE yang mencakup tahapan *Analysis* (analisis), *Design* (perancangan), *Develop* (pengembangan), *Implement* (implementasi), dan *Evaluate* (evaluasi). Subjek penelitian meliputi siswa kelas V dan guru IPAS. Teknik pengumpulan data dilakukan melalui lembar validasi oleh ahli materi dan ahli media, angket respons siswa dan guru, serta

tes keterampilan berpikir kritis, yang selanjutnya dianalisis menggunakan pendekatan deskriptif kuantitatif. Hasil validasi menunjukkan bahwa buku interaktif yang dikembangkan berada pada kategori sangat layak. Selain itu, hasil uji coba menunjukkan adanya peningkatan yang signifikan pada keterampilan berpikir kritis siswa setelah menggunakan buku interaktif berbantuan simulasi PhET. Dengan demikian, buku interaktif berbasis STEM ini direkomendasikan sebagai media pembelajaran yang efektif dalam mengintegrasikan konsep sains, teknologi, teknik, dan matematika secara kontekstual di tingkat sekolah dasar.

Kata kunci: : Berpikir Kritis, Buku Interaktif, PhET, Rangkaian Listrik, STEM



Licensed under Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International.

*Copyright (c) 2026 **Lola Aulia Putri, Aan Widiyono**

Pendahuluan

Era globalisasi dan perkembangan abad ke-21 membawa tantangan yang semakin kompleks bagi dunia pendidikan, khususnya dalam menyiapkan sumber daya manusia yang adaptif dan kompeten (Ismatullah, 2025). Tuntutan abad ini mengharuskan individu memiliki keterampilan berpikir kritis dan kreatif serta kemampuan beradaptasi terhadap perubahan yang cepat (Yunita & Mandasari, 2025). Dalam konteks pendidikan sains dan teknologi, berpikir kritis menjadi elemen kunci karena memungkinkan siswa memahami permasalahan secara rasional dan mengambil keputusan berbasis bukti. Berdasarkan laporan *World Economic Forum* berpikir kritis dan pemecahan masalah menjadi salah satu dari sepuluh kompetensi utama abad ke-21 yang perlu dikembangkan untuk menjadi faktor peningkat kualitas sumber daya manusia (Di Bastita et al., 2023)

Pemanfaatan teknologi berbasis *open science* dalam kegiatan pendidikan di bawah naungan UNESCO menunjukkan peran teknologi digital dalam memperluas akses pembelajaran, komunikasi ilmiah, dan keterlibatan peserta didik dalam aktivitas akademik berbasis riset (Kuzmenko et al., 2022). Pembelajaran di abad ke-21 tidak lagi hanya menekankan pada penyampaian materi, melainkan perlu mengarahkan peserta didik untuk mengembangkan keterampilan berpikir tingkat tinggi. Oleh sebab itu, pendidikan dasar sebagai landasan utama pendidikan formal memegang peranan penting dalam menumbuhkan kemampuan berpikir kritis melalui proses pembelajaran yang kontekstual, bermakna, serta berorientasi pada kebutuhan dan keaktifan siswa..

Peningkatan kemampuan berpikir kritis peserta didik dalam konteks pembelajaran sains memungkinkan siswa memecahkan masalah secara rasional,

sistematis, dan berbasis bukti (Widiyono et al., 2025). Pengintegrasian teknologi ke dalam pembelajaran juga telah terbukti mampu memperkuat kemampuan berpikir analitis serta meningkatkan partisipasi aktif siswa sesuai dengan tuntutan era digital (Rosdiana et al., 2024). Pembelajaran berbasis teknologi memberikan peluang bagi siswa untuk mengeksplorasi, bereksperimen, dan membangun pemahaman konseptual secara lebih mendalam melalui pengalaman belajar yang interaktif. Namun demikian, praktik pembelajaran sains di Indonesia masih dihadapkan pada berbagai kendala dalam implementasinya.

Hasil observasi, wawancara, dan kuesioner yang dilaksanakan di SD Al Islam Pengkol pada September 2025 menunjukkan bahwa pembelajaran IPAS pada materi rangkaian listrik masih didominasi oleh metode ceramah serta penggunaan buku ajar, sehingga kegiatan praktik belum berjalan optimal. Kondisi ini menyebabkan siswa mengalami kesulitan dalam memvisualisasikan aliran arus listrik serta membedakan rangkaian seri dan paralel. Padahal, multimedia interaktif berbasis simulasi telah terbukti mampu meningkatkan pemahaman konsep serta kemampuan analitis peserta didik melalui visualisasi dan eksperimen virtual (Putri & Sofyan, 2020). Hidayah et al. (2025) juga menegaskan bahwa simulasi *Physics Education Technology* (PhET) efektif meningkatkan keterlibatan dan pemahaman konsep fisika yang bersifat abstrak.

Hasil analisis kuesioner kebutuhan siswa mengindikasikan bahwa mayoritas siswa lebih menyukai pembelajaran IPAS berbasis media digital interaktif karena dinilai lebih menarik dan membantu memahami materi. Namun, siswa mengaku belum pernah menggunakan simulasi digital seperti PhET, sehingga masih mengalami kesulitan dalam memvisualisasikan konsep rangkaian listrik. Temuan tersebut sesuai dengan Nasar et al. (2025) yang menjelaskan bahwa simulasi PhET berkontribusi dalam peningkatan keterampilan berpikir tingkat tinggi melalui eksplorasi visual dan mandiri. Umiliya et al. (2023) juga membuktikan bahwa simulasi PhET efektif memperkuat pemahaman konsep melalui visualisasi konkret terhadap proses yang sebelumnya abstrak.

Temuan di lapangan tersebut didukung oleh temuan penelitian sebelumnya yang mengindikasikan keterbatasan pembelajaran yang bersifat konvensional, Adilah (2017) menemukan bahwa metode instruksional tradisional kurang efektif dibandingkan pendekatan pembelajaran inovatif dalam meningkatkan hasil belajar sains. Puspita & Dewi (2021) juga menjelaskan bahwa metode pembelajaran tradisional

belum mampu mendorong perkembangan kemampuan berpikir kritis siswa secara optimal. Selain itu, Intan Sari et al. (2019) menyoroti bahwa pengalaman belajar yang monoton dapat menurunkan motivasi dan keterlibatan aktif siswa dalam pembelajaran.

Salah satu upaya yang relevan sebagai langkah untuk menyelesaikan permasalahan tersebut adalah penerapan pendekatan *Science, Technology, Engineering, and Mathematics* (STEM). Pendekatan STEM mengintegrasikan sains dan teknologi melalui kegiatan praktis dan pembelajaran berbasis penyelesaian masalah nyata, yang mendorong siswa untuk mengembangkan keterampilan berpikir kritis dan kreatif (Bybee, 2010). Pendekatan ini selaras dengan tuntutan pembelajaran abad ke-21 yang menekankan penguasaan keterampilan berpikir tingkat tinggi.

Konteks pembelajaran IPAS di sekolah dasar, khususnya pada materi rangkaian listrik, penggunaan simulasi PhET terbukti berhasil meningkatkan pemahaman konsep melalui pemanfaatan visualisasi interaktif dan eksplorasi mandiri. Simulasi PhET memungkinkan siswa melakukan eksperimen virtual untuk mengamati hubungan antar komponen listrik, sehingga memperkuat kemampuan analitis dan evaluatif mereka (Ajredini et al., 2014). Perkins (2020) juga menegaskan bahwa integrasi simulasi PhET dalam pendekatan STEM dapat berpotensi menciptakan pengalaman belajar yang bermakna dan berpusat pada siswa.

Meskipun demikian, sebagian besar penelitian terkait penggunaan simulasi PhET masih berfokus pada jenjang SMP dan SMA, sementara implementasinya di sekolah dasar masih terbatas. Kondisi ini menunjukkan adanya kesenjangan penelitian serta perlunya adaptasi media simulasi yang relevan dengan karakteristik dan kebutuhan belajar siswa SD. Integrasi teknologi pendidikan yang tepat berdampak pada pengalaman pembelajaran yang meningkatkan interaktivitas dan menarik serta berkontribusi terhadap peningkatan keterampilan berpikir kritis siswa (Agustian & Salsabila, 2021; Hawa et al., 2021).

Berdasarkan uraian tersebut, diperlukan pengembangan media pembelajaran berupa buku interaktif berbasis STEM yang didukung oleh simulasi PhET dan disusun secara sistematis serta mudah diterapkan oleh guru. Buku ini dirancang sebagai panduan pembelajaran untuk mengoptimalkan pemanfaatan simulasi PhET dalam pembelajaran IPAS pada jenjang sekolah dasar. Penelitian ini diarahkan untuk mengkaji bagaimana proses pengembangan buku interaktif berbantuan simulasi PhET dengan pendekatan STEM untuk meningkatkan keterampilan berpikir kritis siswa pada materi

rangkaian listrik di SD AL Islam Pengkol, bagaimana tingkat kelayakan, kepraktisan, dan keluwesan buku interaktif yang dikembangkan untuk digunakan oleh guru dan siswa untuk meningkatkan keterampilan berpikir kritis siswa pada materi rangkaian listrik di SD AL Islam Pengkol, serta bagaimana efektivitas penggunaannya dalam meningkatkan keterampilan berpikir kritis siswa pada materi rangkaian listrik di SD AL Islam Pengkol. Pengembangan ini dilandasi oleh kajian yang menegaskan bahwa pendekatan STEM relevan diterapkan di sekolah dasar dan memerlukan dukungan media serta kesiapan guru dalam implementasinya (Wardani & Ardhyantama, 2021).

Metode Penelitian

Penelitian ini merupakan penelitian pengembangan (Research and Development) yang bertujuan menghasilkan media pembelajaran berupa Buku Interaktif berbantuan Simulasi PhET serta menguji kelayakan dan efektivitasnya dalam meningkatkan kemampuan berpikir kritis siswa. Penelitian pengembangan dipilih karena berfokus pada proses perancangan, validasi, dan evaluasi produk pembelajaran secara sistematis (Sugiyono, 2019). Model pengembangan yang digunakan adalah ADDIE yang meliputi tahap *Analysis, Design, Development, Implementation, dan Evaluation*, karena memiliki alur kerja yang jelas dan fleksibel sehingga sesuai untuk pengembangan media pembelajaran berbasis teknologi (Latip, 2022; Waruwu, 2024).

Penelitian dilaksanakan di SD AI Islam Pengkol Jepara. Subjek penelitian adalah seluruh siswa kelas V yang berjumlah 29 peserta didik, Teknik pengambilan sampel menggunakan sampling jenuh, yaitu melibatkan seluruh anggota populasi karena jumlahnya relatif kecil dan memenuhi kriteria penelitian (Sugiyono, 2019). sehingga memungkinkan diperolehnya gambaran efektivitas media secara menyeluruh.

Pemenelitian ini menggunakan model ADDIE terdiri atas lima tahapan, yaitu *analysis, design, development, implementation, dan evaluation*. Tahap analisis bertujuan untuk mengidentifikasi kebutuhan pembelajaran, karakteristik siswa, serta tujuan pembelajaran. Tahap desain dilakukan dengan menyusun prototipe Buku Interaktif yang mengintegrasikan Simulasi PhET, meliputi penyajian materi, aktivitas interaktif, dan latihan yang dirancang untuk mengembangkan kemampuan berpikir kritis siswa. Indikator berpikir kritis yang digunakan mengacu pada kemampuan analisis, evaluasi, dan inferensi sebagaimana dikemukakan oleh (Facione, 2015:4-6). Selanjutnya, pada tahap pengembangan, prototipe divalidasi oleh ahli materi, media, dan desain

pembelajaran, kemudian direvisi berdasarkan masukan validator sebelum dilakukan uji coba terbatas.

Tahap implementasi dilakukan dengan menerapkan Buku Interaktif dalam pembelajaran di kelas V setelah guru memperoleh pelatihan penggunaan Simulasi PhET agar integrasi media berjalan optimal. Tahap evaluasi dilakukan melalui pemberian pre-test dan post-test untuk mengetahui peningkatan kemampuan berpikir kritis siswa. Instrumen tes digunakan karena mampu mengukur perubahan kemampuan siswa secara kuantitatif dan objektif (Taber, 2018).

Teknik analisis data menggunakan pendekatan deskriptif kualitatif dan kuantitatif. Analisis kualitatif digunakan untuk mengolah data observasi, wawancara, dan umpan balik guru serta siswa, sedangkan analisis kuantitatif digunakan untuk mengolah data validasi ahli dan kuesioner respons menggunakan skala Likert. Efektivitas Buku Interaktif dianalisis melalui uji-t berpasangan (paired sample t-test) setelah memenuhi uji prasyarat normalitas dan homogenitas. Pendekatan ini sejalan dengan pandangan Creswell & Creswell (2018), yang menekankan pentingnya integrasi data kualitatif dan kuantitatif untuk memperoleh pemahaman penelitian yang komprehensif dan valid.

Hasil dan Pembahasan

Penelitian ini merupakan penelitian pengembangan (*Research and Development*) yang menghasilkan media pembelajaran berupa Buku Interaktif berbantuan Simulasi PhET serta menguji kelayakan dan efektivitasnya dalam meningkatkan kemampuan berpikir kritis siswa. Pengembangan produk dilakukan menggunakan model ADDIE yang meliputi tahap *Analysis, Design, Development, Implementation, dan Evaluation* (Ririn Novelina et al., 2023).

Analysis

Pada tahap analisis, dilakukan identifikasi kebutuhan pembelajaran untuk mengetahui permasalahan yang dihadapi dalam pembelajaran rangkaian listrik di SD Al Islam Pengkol. Hasil analisis menunjukkan bahwa meskipun sekolah telah memiliki sarana pendukung berupa proyektor dan perangkat digital, ketersediaan media pembelajaran interaktif khusus pada materi sirkuit listrik masih terbatas. Selain itu, analisis capaian dan tujuan pembelajaran menunjukkan perlunya media yang mampu

membantu siswa memahami konsep listrik dasar, mengidentifikasi komponen rangkaian, serta menjelaskan prinsip kerja sirkuit listrik secara logis.

Design

Tahap desain difokuskan pada perancangan Buku Interaktif berbantuan Simulasi PhET berbasis STEM sesuai dengan capaian dan tujuan pembelajaran yang telah ditetapkan. Pada tahap ini dirancang struktur buku yang mencakup materi pembelajaran, latihan soal, LKPD, serta integrasi kode QR yang terhubung langsung dengan simulasi PhET. Selain itu, ditentukan penggunaan perangkat keras dan perangkat lunak berbasis digital serta perancangan elemen grafis dan tata letak halaman agar tampilan buku menarik, informatif, dan mudah digunakan oleh siswa.

Development

Tahap ketiga adalah Pengembangan. Pada tahap ini, Buku Interaktif disusun secara komprehensif berdasarkan desain yang telah dibuat. Proses pengembangan meliputi: Pembuatan halaman interaktif: Menyusun halaman Buku Interaktif yang menyajikan materi pembelajaran tentang sirkuit listrik, termasuk soal latihan dan kode QR untuk mengakses simulasi PhET secara langsung. Penyusunan konten pembelajaran secara sistematis menyusun materi pembelajaran dengan cara yang mendukung peningkatan keterampilan berpikir kritis melalui simulasi kehidupan nyata. Hasil yang dihasilkan dari pengembangan Buku Interaktif ini dapat digunakan dengan mengikuti langkah-langkah berikut,

Membuka Buku Interaktif

Siswa membuka buku fisik melalui halaman sampul dan menuju ke halaman utama yang menyajikan judul "Buku Interaktif Berbantuan PhET Berbasis STEM Berbasis Sirkuit Listrik" dengan ilustrasi yang menarik.



Gambar 1 Sampul Buku Interaktif dan Tampilan Halaman Beranda

Baca Pendahuluan

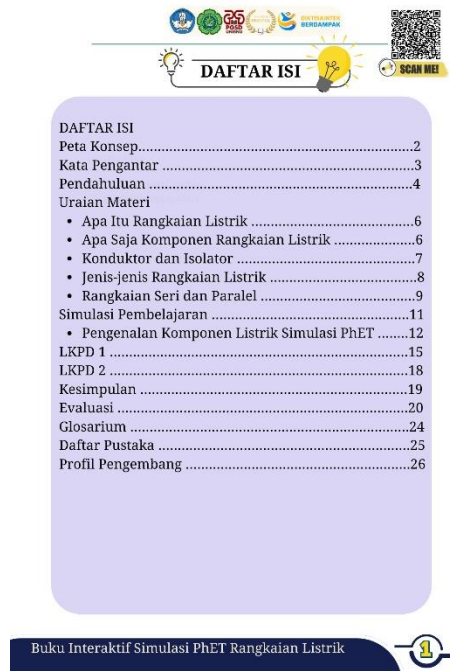
Pahami terlebih dahulu tujuan pembelajaran dan konsep dasar sirkuit listrik yang dijelaskan di awal buku. Baca deskripsi materi dengan seksama untuk memahami hubungan antara teori dan eksperimen virtual.



Gambar 2 Tampilan Halaman Pendahuluan dan Peta Konsep Buku

Memilih Menu Pembelajaran

Buku ini disusun dengan struktur halaman yang jelas, di mana siswa dapat merujuk ke bagian materi, evaluasi (soal latihan), eksperimen, dan tujuan pembelajaran sesuai kebutuhan.



The image shows the cover of an interactive book. At the top, there are several logos including the Indonesian Ministry of Education and Culture, the 75th anniversary of Indonesia's independence, and the PhET logo. A QR code is located on the right side. The title 'DAFTAR ISI' is prominently displayed in the center. Below the title, a light purple box contains the table of contents. At the bottom of the cover, there is a dark blue banner with the text 'Buku Interaktif Simulasi PhET Rangkaian Listrik' and a small PhET logo.

| DAFTAR ISI | |
|---|----|
| Peta Konsep..... | 2 |
| Kata Pengantar | 3 |
| Pendahuluan | 4 |
| Uraian Materi | |
| • Apa Itu Rangkaian Listrik | 6 |
| • Apa Saja Komponen Rangkaian Listrik | 6 |
| • Konduktor dan Isolator | 7 |
| • Jenis-jenis Rangkaian Listrik | 8 |
| • Rangkaian Seri dan Paralel | 9 |
| Simulasi Pembelajaran | 11 |
| • Pengenalan Komponen Listrik Simulasi PhET | 12 |
| LKPD 1 | 15 |
| LKPD 2 | 18 |
| Kesimpulan | 19 |
| Evaluasi | 20 |
| Glosarium | 24 |
| Daftar Pustaka | 25 |
| Profil Pengembang | 26 |

Gambar 3 Struktur Menu Pembelajaran Buku Interaktif

Materi Pembelajaran

Siswa membaca halaman materi yang disajikan secara sistematis, kemudian memindai *QR code* untuk melakukan simulasi interaktif sirkuit listrik

URAIAN MATERI

Apa itu rangkaian listrik?

Rangkaian listrik adalah hubungan antara beberapa benda yang bisa membuat listrik mengalir. Listrik ini berasal dari sumber listrik, seperti baterai, lalu mengalir melalui kabel dan menuju lampu, kipas, atau alat lain yang menggunakan listrik.

Contoh penggunaan rangkaian listrik di kehidupan sehari-hari

- Di Rumah: Menyalakan lampu, televisi, kipas angin, dan mengisi daya ponsel.
- Di Sekolah: Menghidupkan proyektor, komputer, kipas angin, dan printer.
- Di Tempat Umum: Lampu lalu lintas, mesin ATM, eskalator, dan lift.

Apa Saja Komponen Rangkaian Listrik?

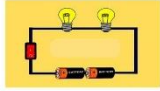
Teman-teman, pernahkah kalian menyalakan lampu menggunakan baterai? Nah, itu adalah salah satu contoh rangkaian listrik! Terdapat berbagai komponen di dalam rangkaian listrik diantaranya kabel, lampu, baterai dan lain-lain. Yuk, kita kenali komponen-komponen yang ada di dalamnya dan apa saja fungsinya!

Buku Interaktif Simulasi PhET Rangkaian Listrik 6

JENIS-JENIS RANGKAIAN LISTRIK

Teman-teman, tahukah kalian bahwa ada dua cara menyusun rangkaian listrik? Yaitu Rangkaian Seri dan Paralel. Yuk, kita pelajari bersama.

Rangkaian Listrik Seri



Rangkaian seri adalah rangkaian listrik di mana semua komponen listrik disusun dalam satu jalur tanpa cabang.

Ciri-ciri:

- Arus listrik mengalir melalui satu jalur.
- Jika satu komponen mati (misalnya satu lampu putus), maka seluruh rangkaian akan terputus.
- Tegangan (voltase) dari baterai terbagi ke setiap komponen.

Cara Kerjanya Jika satu lampu dalam rangkaian seri mati, maka seluruh rangkaian akan terputus dan semua lampu akan mati. Misalnya, jika kita memiliki tiga lampu yang dihubungkan secara seri, maka arus listrik akan mengalir melalui masing-masing lampu secara berurutan. Jika salah satu lampu mati, maka semua lampu akan mati.

Buku Interaktif Simulasi PhET Rangkaian Listrik 8

KOMPONEN RANGKAIAN LISTRIK

Memberikan energi listrik agar rangkaian bisa menyala.
Baterai punya dua kutub, yaitu positif (+) dan negatif (-).

Kabel (Penghantar Listrik) :
Mengalirkan listrik dari sumber (baterai) ke komponen lain.






Memberikan energi listrik agar rangkaian bisa menyala.
Baterai punya dua kutub, yaitu positif (+) dan negatif (-).

KONDUKTOR DAN ISOLATOR

| Konduktor | Isolator |
|---|---|
| Konduktor adalah bahan yang menghantarkan listrik. Ini berarti bahwa arus listrik dapat mengalir melalui konduktor. | Isolator adalah bahan yang tidak menghantarkan listrik. Ini berarti bahwa arus listrik tidak dapat mengalir melalui isolator. |
| <ul style="list-style-type: none"> kawat tembaga Besi | <ul style="list-style-type: none"> Plastik ban karet Solasi |

Buku Interaktif Simulasi PhET Rangkaian Listrik 7

Pengenalan komponen listrik di dalam simulasi PHET

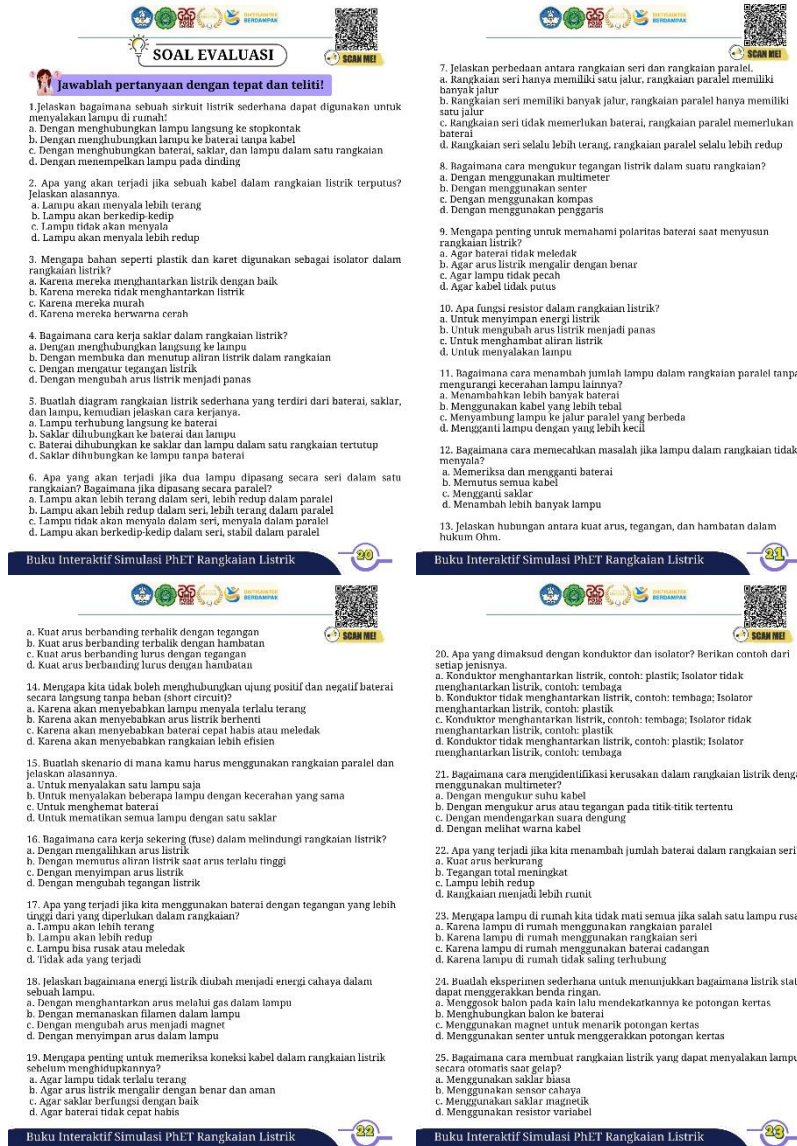
| | |
|---|--|
|  | Kabel (<i>Wire</i>): untuk Menghubungkan berbagai komponen dalam rangkaian untuk membentuk jalur arus listrik Cara penggunaan dengan cara Klik dan seret kabel menghubungkan komponen seperti baterai, resistor, dan lampu. |
|  | Baterai (<i>Battery</i>): Menyediakan sumber tegangan untuk rangkaian listrik. Anda dapat menyesuaikan jumlah baterai dan tegangan yang dihasilkan untuk melihat perubahan tegangan mempengaruhi rangkaian. |
|  | Lampu (<i>Bulb</i>): Menunjukkan apakah arus listrik mengalir dalam rangkaian melalui nyala lampu. Lampu akan menyala ketika ada arus yang cukup mengalir melaluinya. |
|  | Resistor: Membatasi aliran arus listrik dalam Resistor digunakan untuk mengontrol arus listrik dan tegangan di berbagai bagian rangkaian. |
|  | Tombol Sakelar (<i>Switch</i>): Menghubungkan atau memutuskan aliran listrik dalam rangkaian. Anda dapat mengklik sakelar untuk mengubah posisinya dari "terbuka" (off) menjadi "tertutup" (on) dan sebaliknya. |

Buku Interaktif Simulasi PhET Rangkaian Listrik 12

Gambar 4 Materi Simulasi PhET dan Halaman Kode QR

Evaluasi

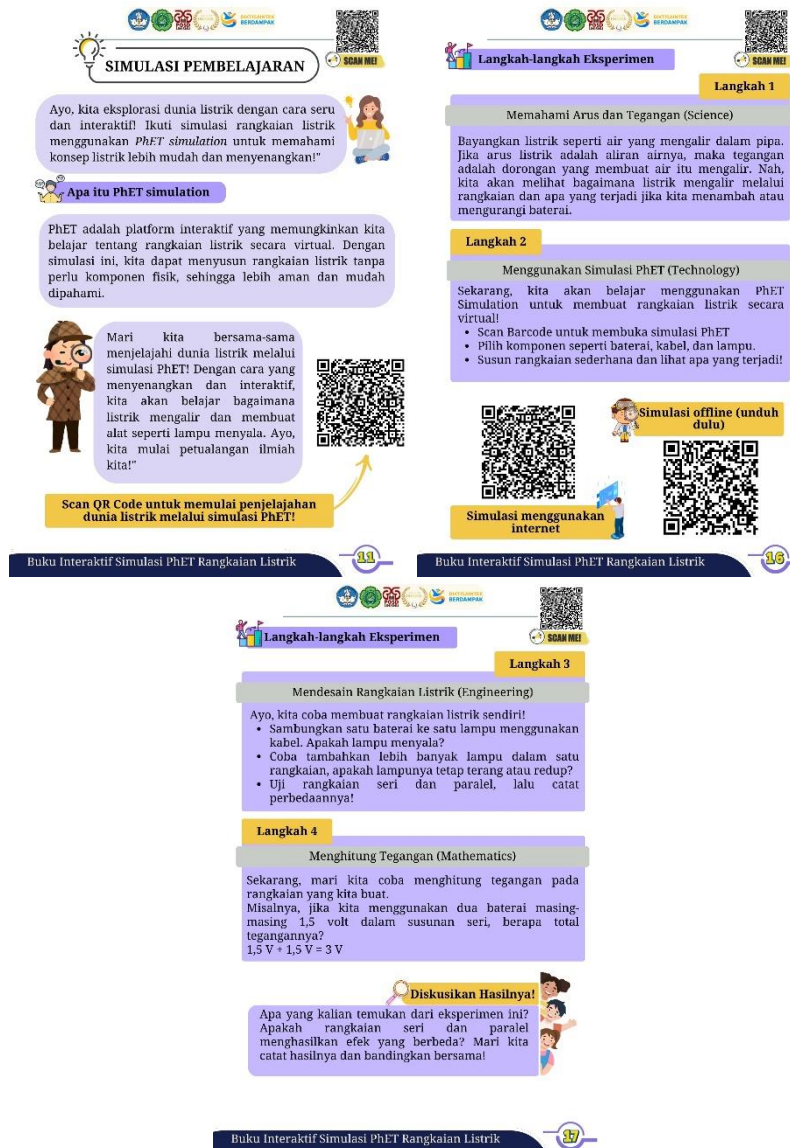
Setelah mempelajari materi, siswa dapat melanjutkan ke bagian Evaluasi untuk mengerjakan pertanyaan latihan yang dirancang untuk mengukur pemahaman konsep dan keterampilan berpikir kritis.



Gambar 5 Tampilan Halaman Evaluasi (Soal Latihan)

Eksperimen

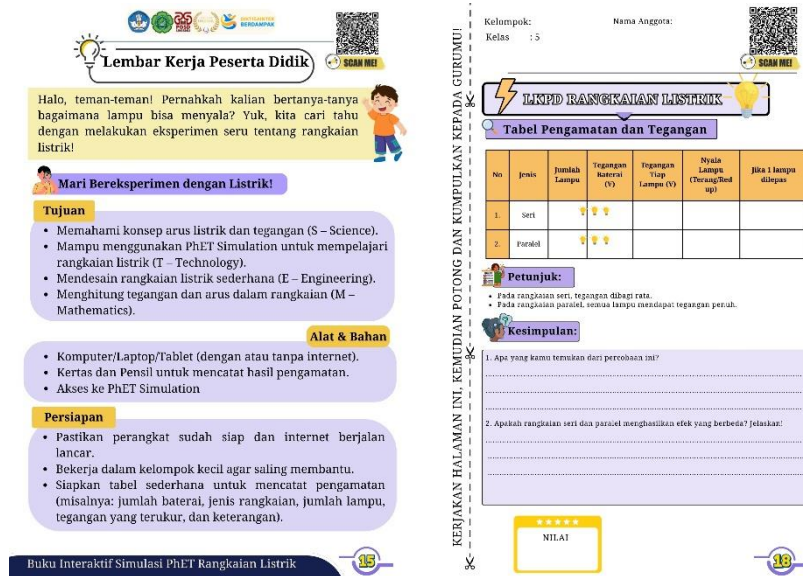
Siswa melakukan eksperimen sesuai petunjuk yang terkandung dalam buku interaktif, sehingga dapat menerapkan konsep yang telah mereka pelajari secara langsung.



Gambar 6 Kegiatan Percobaan Sirkuit Listrik

Lembar Kerja Siswa

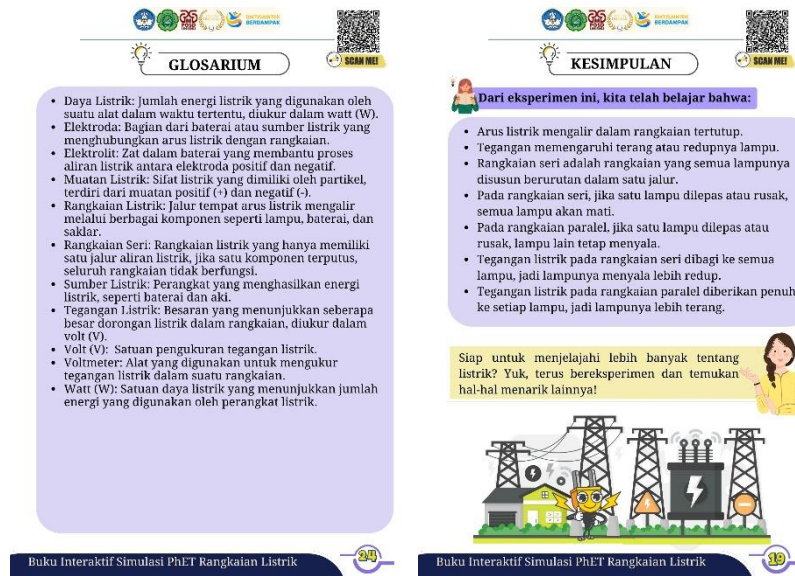
Buku ini dilengkapi dengan LKPD dengan panduan langkah kerja dan ruang jawaban yang sistematis, sehingga mahasiswa dapat dengan mudah mengikuti kegiatan eksperimen, mencatat hasil observasi, dan menarik kesimpulan secara mandiri dan terarah.



Gambar 7 Lembar Kerja Mahasiswa (LKPD)

Daftar Pustaka, Refleksi dan Kesimpulan

Buku Interaktif ini juga dilengkapi dengan glosarium yang memuat definisi istilah-istilah penting dalam kelistrikan untuk membantu siswa memahami terminologi yang digunakan secara tepat. Pada bagian akhir, disajikan refleksi dan kesimpulan yang mendorong siswa mengevaluasi pengalaman belajar, termasuk pemahaman materi, penggunaan simulasi melalui pemindaian QR code, serta tantangan yang dihadapi selama proses eksperimen. Bagian kesimpulan merangkum konsep utama yang telah dipelajari, meliputi konsep dasar kelistrikan, identifikasi komponen, dan prinsip kerja sirkuit listrik, sekaligus menegaskan bahwa penggunaan Buku Interaktif berbantuan Simulasi PhET berbasis STEM mendukung pengembangan keterampilan berpikir kritis siswa.



Gambar 8 Halaman Glosarium, Refleksi dan Kesimpulan Buku Interaktif

Buku Interaktif Simulasi PhET Berbasis STEM adalah solusi pembelajaran modern untuk memahami konsep sirkuit listrik. Dengan fitur interaktif, tautan simulasi virtual, dan aktivitas berbasis STEM, buku ini membuat proses pembelajaran lebih menarik sekaligus memperdalam pemahaman siswa tentang cara kerja listrik dalam kehidupan sehari-hari.

Implementation

Tahap implementasi merupakan tahap keempat dari penelitian ini. Pada tahap ini, media pembelajaran yang dikembangkan menjalani pengujian dan validasi ahli, kemudian diterapkan pada siswa. Tujuan dari tahap ini untuk mengetahui apakah media pembelajaran telah efektif, apakah telah mencapai tujuan pembelajaran, dan untuk menilai respon siswa terhadap penggunaan media. Ringkasan yang lebih komprehensif dari hasil implementasi disajikan dalam Tabel 1.

Tabel 1 Hasil Validasi Ahli dan Pengujian Produk Produk Buku Interaktif Berbantuan Simulasi PhET Berbasis STEM

| Subjek Uji | Hasil Validasi (%) |
|--------------------------|--------------------|
| Ahli Materi | 87 |
| Ahli Media Pembelajaran | 94 |
| Ahli Desain Pembelajaran | 90 |
| Uji Coba Perorangan | 96 |
| Uji Coba Sekala Kecil | 92 |

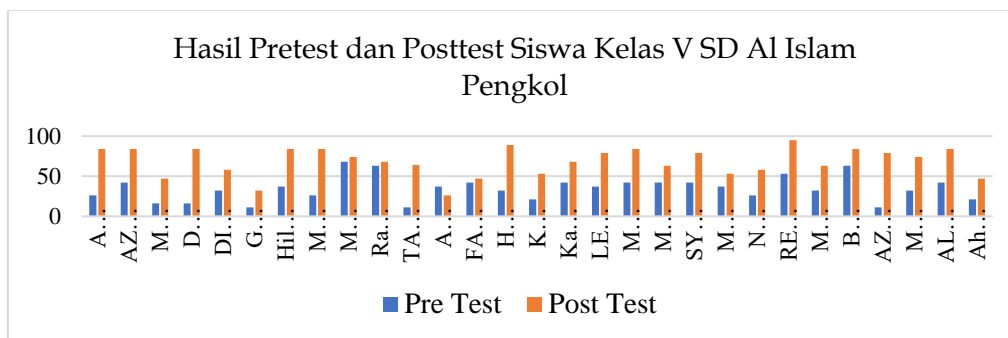
Evaluation

Fase kelima dan bagian akhir dari model pengembangan ADDIE merupakan fase evaluasi. Pada tahap ini dilakukan penilaian efektivitas media pembelajaran yang dikembangkan melalui uji validasi dan uji coba pada siswa. Evaluasi bertujuan untuk mengetahui tingkat ketercapaian tujuan pembelajaran oleh media pembelajaran serta peningkatan hasil belajar siswa. Fase ini berfungsi sebagai acuan utama untuk mengevaluasi validitas dan efisiensi media pembelajaran yang dikembangkan untuk penggunaan pendidikan.

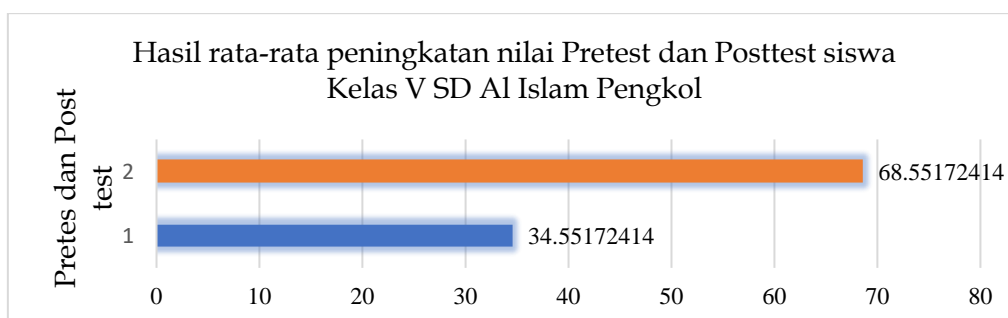
Tabel 2 Tabel Hasil Uji Statistik Deskriptif

| | Prates | Pasca-tes |
|----------------|--------|-----------|
| N | 29 | 29 |
| Mean | 34,6 | 68,6 |
| Median | 37 | 74 |
| Minimum | 11 | 26 |
| Maksimum | 68 | 95 |
| Shapiro-Wilk W | 0.975 | 0.698 |

Hasil penelitian mengindikasikan bahwa penggunaan media interaktif secara signifikan meningkatkan hasil belajar siswa. Nilai rata-rata pra-tes siswa sebesar 34,6 meningkat menjadi 68,6 pada pasca-tes, menunjukkan peningkatan 34 poin. Selain itu, median meningkat dari 37 menjadi 74, yang menandakan bahwa sebagian besar siswa memperoleh hasil belajar yang lebih baik setelah menggunakan media. Skor standar deviasi juga sedikit meningkat dari 15,2 menjadi 17,7, menunjukkan variasi hasil belajar antar siswa, namun secara keseluruhan data menunjukkan tren kenaikan yang positif. Uji normalitas *Shapiro-Wilk* menunjukkan bahwa nilai $p = 0,698 > 0,05$, sehingga data didistribusikan secara normal. Oleh karena itu, dapat disimpulkan bahwa asumsi normalitas telah terpenuhi, memungkinkan penggunaan uji-T Sampel Berpasangan untuk menganalisis perbedaan hasil belajar sebelum dan sesudah intervensi. Hasil pretest dan posttest bagi mahasiswa yang menggunakan buku STEM interaktif yang didukung oleh simulasi PhET disajikan pada grafik di bawah ini:



Gambar 9 Hasil Pretest dan Posttest Keterampilan Berpikir Kritis Siswa



Gambar 10 Hasil Peningkatan Rata-Rata Keterampilan Berpikir Kritis Siswa

Hasil Tes T Sampel Berpasangan menunjukkan perbedaan yang signifikan antara nilai pretest dan posttest siswa. Nilai t yang dihitung sebesar -9,47 dengan 28 derajat kebebasan ($df = 28$) menunjukkan bahwa hasil belajar siswa meningkat pesat setelah menggunakan media pembelajaran interaktif yang dikembangkan dibandingkan sebelum intervensi. Nilai p kurang dari 0,001 menegaskan bahwa perbedaan ini sangat signifikan secara statistik, menunjukkan bahwa proses pembelajaran yang diterapkan memiliki dampak positif yang kuat pada kinerja siswa. Akibatnya, hipotesis alternatif ($H_a: \mu \text{ Ukuran 1} - \text{Ukuran 2} \neq 0$) diterima, menunjukkan perbedaan nyata antara skor pretest dan posttest setelah penggunaan media pembelajaran yang dikembangkan.

Pembahasan

Hasil penelitian menunjukkan bahwa buku interaktif berbantuan simulasi PhET berbasis STEM pada materi rangkaian listrik layak diimplementasikan sebagai media pembelajaran di sekolah dasar. Integrasi buku cetak dengan simulasi digital memungkinkan siswa tidak hanya mempelajari materi melalui bacaan, tetapi juga melakukan pengamatan secara langsung hubungan antar komponen rangkaian listrik

melalui visualisasi interaktif. Kondisi ini membuat pembelajaran menjadi lebih kontekstual, mandiri, dan bermakna, terutama dalam membantu siswa memahami konsep kelistrikan yang bersifat abstrak (Djafar, 2024; Khaeruddin & Bancong, 2022)

Temuan ini sejalan dengan penelitian sebelumnya yang menyatakan bahwa simulasi PhET mampu meningkatkan keterlibatan dan pemahaman konseptual siswa melalui aktivitas eksplorasi dan eksperimen virtual (Rayan et al., 2023; Rahmawati et al., 2022). Melalui simulasi, siswa memperoleh kesempatan untuk menguji konsep, mengamati perubahan variabel, serta membangun pemahaman secara aktif. Hal ini menegaskan bahwa simulasi PhET relevan digunakan sebagai media pembelajaran sains yang mendukung tuntutan pembelajaran abad ke-21.

Perbedaan utama penelitian ini dengan studi terdahulu terletak pada bentuk dan sasaran pengembangan media. Jika sebagian besar penelitian sebelumnya mengembangkan Lembar Kerja Peserta Didik (LKPD) atau murni berbasis PhET pada jenjang SMP dan SMA, penelitian ini mengintegrasikan simulasi PhET ke dalam buku cetak interaktif melalui *QR code* yang dirancang khusus untuk karakteristik siswa sekolah dasar (Rahmi et al., 2024; Widiastuti et al., 2024). Pendekatan ini menjadi inovatif karena tetap memungkinkan pembelajaran berbasis eksplorasi meskipun keterbatasan perangkat digital dan fasilitas laboratorium.

Selain aspek kebaruan tersebut, produk yang dikembangkan memiliki beberapa kelebihan utama. Pertama, buku interaktif ini bersifat fleksibel karena dapat digunakan secara luring melalui buku cetak maupun daring melalui akses simulasi PhET, sehingga mudah diadaptasi dengan kondisi sarana dan prasarana sekolah. Kedua, struktur materi dan aktivitas pembelajaran disusun secara sistematis dengan pendekatan STEM yang mengintegrasikan aspek sains, teknologi, teknik, dan matematika secara terpadu, sehingga mendorong siswa untuk mengamati, menganalisis, dan menarik kesimpulan secara logis. Ketiga, keberadaan aktivitas eksploratif, pertanyaan pemantik, dan tugas reflektif dalam buku secara langsung melatih keterampilan berpikir kritis siswa, khususnya pada kemampuan analisis, evaluasi, dan inferensi, serta menumbuhkan sikap ilmiah dalam proses pembelajaran (Nuha et al., 2018; Perkins, 2020). Pembelajaran tidak hanya berorientasi pada hasil, tetapi juga pada proses berpikir ilmiah yang bermakna.

Hasil validasi ahli materi, media, dan desain pembelajaran menunjukkan bahwa buku interaktif telah memenuhi aspek kelayakan isi, tampilan, dan pedagogis. Materi

disusun sesuai capaian pembelajaran IPAS dan akurat secara konseptual, sementara desain visual dan integrasi *QR code* dinilai mampu meningkatkan ketertarikan serta fokus siswa dalam belajar (Dharmayani et al., 2022; Yanuardianto et al., 2023). Temuan ini menguatkan bahwa kualitas konten dan desain media berperan penting dalam mendukung keberhasilan pembelajaran sains di sekolah dasar.

Meskipun demikian, penelitian ini memiliki keterbatasan, yaitu pengembangan buku hanya difokuskan pada materi rangkaian listrik dan uji coba dilakukan pada skala terbatas. Oleh karena itu, penelitian selanjutnya disarankan untuk mengembangkan buku interaktif berbasis STEM dan simulasi PhET pada materi IPAS lainnya serta mengujinya pada sampel yang lebih luas. Pengembangan lanjutan juga dapat mengintegrasikan asesmen digital agar guru dapat memantau perkembangan keterampilan berpikir kritis siswa secara lebih adaptif dan berkelanjutan.

Kesimpulan

Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan serta menguji kelayakan dan efektivitas buku interaktif berbasis STEM yang didukung oleh simulasi PhET dalam meningkatkan kemampuan berpikir kritis siswa sekolah dasar pada materi rangkaian listrik. Hasil penelitian menunjukkan bahwa buku interaktif yang dikembangkan dinilai layak dan efektif untuk digunakan dalam pembelajaran, serta mampu membantu siswa memahami konsep listrik yang bersifat abstrak melalui kegiatan visual, eksploratif, dan terstruktur. Melalui aktivitas tersebut, siswa terdorong untuk melakukan analisis, evaluasi, serta mengaitkan konsep secara lebih mendalam. Namun demikian, penelitian ini memiliki beberapa keterbatasan, antara lain jumlah sampel yang relatif terbatas, cakupan materi yang hanya difokuskan pada satu topik, serta pelaksanaan uji coba yang dilakukan pada konteks sekolah tertentu. Oleh karena itu, penelitian selanjutnya disarankan untuk mengembangkan buku interaktif pada materi sains lainnya, meningkatkan tingkat interaktivitas media, serta mengujinya pada sampel yang lebih luas dan beragam, sehingga dapat diperoleh temuan yang lebih komprehensif dan memperkuat kontribusi media pembelajaran berbasis teknologi dalam meningkatkan keterampilan berpikir tingkat tinggi siswa.

Referensi

- Adilah, N. (2017). Perbedaan hasil belajar IPA melalui penerapan metode mind map dengan metode ceramah. *Indonesian Journal of Primary Education*, 1(1), 98. <https://doi.org/10.17509/ijpe.v1i1.7521>
- Agustian, N., & Salsabila, U. H. (2021). Peran teknologi pendidikan dalam pembelajaran. *ISLAMIKA*, 3(1), 123-133. <https://doi.org/10.36088/islamika.v3i1.1047>
- Ajredini, F., Izairi, N., & Zajkov, O. (2014). Real experiments versus PhET simulations for better high-school students' understanding of electrostatic charging. *European Journal of Physics Education*, 5(1), 59.
- Bybee, R. W. (2010). What is STEM education? *Science*, 329(5995), 996-996. <https://doi.org/10.1126/science.1194998>
- Creswell, J. W., & Creswell, J. D. (2018). *Research design: Qualitative, quantitative, and mixed methods approaches* (pp. 147-150). SAGE Publications.
- Dharmayani, N. P. A. G., Agung, A. A. G., & Wiyasa, I. K. N. (2022). Multimedia interaktif berbasis pendekatan saintifik efektif meningkatkan kompetensi pengetahuan IPA. *Jurnal Penelitian dan Pengembangan Pendidikan*, 7(2), 317-327. <https://doi.org/10.23887/jppp.v7i2.54767>
- Di Bastita, A., Grayling, S., Hasselaar, E., Leopold, T., Li, R., Rayner, M., & Zahidi, S. (2023). *Future of jobs report 2023*. World Economic Forum. <https://www.weforum.org/reports/the-future-of-jobs-report-2023>
- Djafar, S. J. (2024). The use of learning media as an effort to improve student learning outcomes: Classroom action research at State Elementary School 64 Timur City, Gorontalo Regency. *Journal of Indonesian Primary School*, 1(3), 1-7. <https://doi.org/10.62945/jips.v1i3.144>
- Facione, P. A. (2015). *Critical thinking: What it is and why it counts*. California Academic Press.
- Hawa, A. A., Supriadi, B., & Prastowo, S. H. B. (2021). Efektivitas pengembangan perangkat pembelajaran model PBL berbantuan simulasi PhET pada materi termodinamika untuk meningkatkan kemampuan berpikir kritis siswa. *ORBITA: Jurnal Pendidikan dan Ilmu Fisika*, 7(2), 327. <https://doi.org/10.31764/orbita.v7i2.6041>
- Hidayah, N., Talakua, P., Azis, D. A., & Maipauw, M. M. (2025). Development of interactive learning media based on augmented simulation using PhET for magnetic field material. *Jurnal Pendidikan dan Ilmu Fisika*, 5(1), 40-53. <https://doi.org/10.52434/jpif.v5i1.42588>
- Intan Sari, M., R., & Agustini, F. (2019). Keefektifan model pembelajaran index card match terhadap hasil belajar mata pelajaran IPA. *International Journal of Elementary Education*, 3(1), 41. <https://doi.org/10.23887/ijee.v3i1.17283>
- Ismatullah, N. H. (2025). Tantangan dan peluang dalam perencanaan pendidikan berkelanjutan di era globalisasi. *Jurnal At-Tadbir: Media Hukum dan Pendidikan*, 35(01), 61-74. <https://doi.org/10.52030/attadbir.v35i01.365>

- Khaeruddin, K., & Bancong, H. (2022). STEM education through PhET simulations: An effort to enhance students' critical thinking skills. *Jurnal Ilmiah Pendidikan Fisika Al-Biruni*, 11(1), 35–45. <https://doi.org/10.24042/jipfalbiruni.v11i1.10998>
- Kuzmenko, H., Bratus, I., Kovalova, O., & Halchenko, M. (2022). Implementing open science technology in educational activities of the UNESCO Centre, "Junior Academy of Science of Ukraine". *International Journal of Computer Science and Network Security*, 22(1), 183–188. <https://doi.org/10.22937/IJCSNS.2022.22.1.25>
- Latip, A. (2022). Penerapan model ADDIE dalam pengembangan multimedia pembelajaran berbasis literasi sains. *DIKSAINS: Jurnal Ilmiah Pendidikan Sains*, 2(2), 102–108. <https://doi.org/10.33369/diksains.2.2.102-108>
- Nasar, A., Sinar, Y., & Nanut, F. A. (2025). Integrating inquiry-based learning with PhET simulations: A strategy to enhance higher-order thinking skills. *Jurnal Pendidikan Fisika*, 13(2), 151–162. <https://doi.org/10.26618/jpf.v13i2.17563>
- Nuha, A., Wills, G., & Wald, M. (2018). Advantages and challenges of using e-assessment. *International Journal of Information and Education Technology*, 8(1), 34–37. <https://doi.org/10.18178/ijiet.2018.8.1.1008>
- Perkins, K. (2020). Transforming STEM learning at scale: PhET interactive simulations. *Childhood Education*, 96(4), 42–49. <https://doi.org/10.1080/00094056.2020.1796451>
- Puspita, V., & Dewi, I. P. (2021). Efektifitas E-LKPD berbasis pendekatan investigasi terhadap kemampuan berfikir kritis siswa sekolah dasar. *Jurnal Cendekia: Jurnal Pendidikan Matematika*, 5(1), 86–96. <https://doi.org/10.31004/cendekia.v5i1.456>
- Putri, P., & Sofyan, H. (2020). A simulation-based interactive learning multimedia development for photosynthesis and respiration practicum in junior high schools. *Journal of Educational Technology and Online Learning*, 3(3), 311–339. <https://doi.org/10.31681/jetol.775947>
- Rahmawati, Y., Zulhipri, Z., Hartanto, O., Falani, I., & Iriyadi, D. (2022). Students' conceptual understanding in chemistry learning using PhET interactive simulations. *Journal of Technology and Science Education*, 12(2), 303. <https://doi.org/10.3926/jotse.1597>
- Rahmi, C., Maisarah, M., & Sabarni, S. (2024). The effectiveness of scientific literacy-based student worksheets in improving student learning outcomes in colloid chemistry learning. *Journal of Educational Chemistry (JEC)*, 6(1), 49–56. <https://doi.org/10.21580/jec.2024.6.1.20028>
- Rayan, B., Daher, W., Diab, H., & Issa, N. (2023). Integrating PhET simulations into elementary science education: A qualitative analysis. *Education Sciences*, 13(9), 884. <https://doi.org/10.3390/educsci13090884>
- Ririn Novelina, Herlinda, H., Vebrianto, R., Aramudin, A., & Berlian, M. (2023). Penilaian dan evaluasi media flipbook digital berbasis pendekatan STEAM dengan instruksional ADDIE pada materi keseimbangan ekosistem. *Jurnal Pendidikan MIPA*, 13(3), 701–707. <https://doi.org/10.37630/jpm.v13i3.1099>
- Rosdiana, A., Widiyono, A., Nisah, N., Al, M. N., & Putri, L. A. (2024). Enhancing teachers' professional development by implementing Smart Apps Creator (SAC).

- Jurnal Keuangan Umum dan Akuntansi Terapan*, 6(1).
<https://doi.org/10.31092/kuat.v6i1.2590>
- Sugiyono. (2019). *Metode penelitian dan pengembangan (Research and Development / R&D)*. Alfabeta.
- Taber, K. S. (2018). The use of Cronbach's alpha when developing and reporting research instruments in science education. *Research in Science Education*, 48(6), 1273–1296.
<https://doi.org/10.1007/s11165-016-9602-2>
- Umiliya, U., Wati, A., & Mahadi, I. (2023). The effectiveness of the application of PhET with inquiry learning model to improve understanding of the concept. *Journal of Science Education Research*, 7(2), 82–92. <https://doi.org/10.21381/jser.v7i2.59148>
- Wardani, R. P., & Ardhyantama, V. (2021). Kajian literature: STEM dalam pembelajaran sekolah dasar. *Jurnal Penelitian Pendidikan*, 13(1), 18–28.
<https://doi.org/10.21137/jpp.2021.13.1.3>
- Waruwu, M. (2024). Metode penelitian dan pengembangan (R&D): Konsep, jenis, tahapan dan kelebihan. *Jurnal Ilmiah Profesi Pendidikan*, 9(2), 1220–1230.
<https://doi.org/10.29303/jipp.v9i2.2141>
- Widiastuti, H., Ds, Y. N., Subekti, E., Rohartati, S., & Sadiyah, T. L. (2024). Efforts to improve science learning outcomes through experimental methods in grade IV students. *Jurnal Penelitian Pendidikan IPA*, 10(10), 7548–7553.
<https://doi.org/10.29303/jppipa.v10i10.8804>
- Widiyono, A., Attalina, S. N. C., Zumrotun, E., Putri, L. A., & Masturoh, L. L. (2025). PjBL-STEM-based animal & plants metamorphosis multimedia innovation: Improving students' critical thinking skills in elementary school. *Formatif: Jurnal Ilmiah Pendidikan MIPA*, 15(1). <https://doi.org/10.30998/formatif.v15i1.26048>
- Yanuardianto, E., Ilyas, M., & Wafa, M. A. (2023). Development of pop-up book learning media assisted by QR code to increase student learning motivation in science material. *EDUCARE: Journal of Primary Education*, 4(2), 135–148.
<https://doi.org/10.35719/educare.v4i2.220>
- Yunita, L., & Mandasari, N. (2025). Pendidikan sains berorientasi keterampilan abad 21 dalam konteks pendidikan tinggi: Review. *Panthera: Jurnal Ilmiah Pendidikan Sains dan Terapan*, 5(1), 40–49. <https://doi.org/10.36312/panthera.v5i1.334>