

Pengembangan E-Modul Pembelajaran Berbantuan *PhET Interactive Simulation* pada Materi Energi Alternatif Peserta Didik SMA Negeri 10 Kota Jambi

Yani Martia Lestari^{1,*}, Tugiyono Aminoto¹, Erlida Amnie¹⁾

¹⁾Program Studi Pendidikan Fisika, Universitas Jambi

*Corresponding Author: yanimartialestari@gmail.com

ABSTRAK

Keterbatasan bahan ajar fisika yang interaktif dan sesuai dengan tuntutan Kurikulum Merdeka serta kesulitan peserta didik dalam memahami konsep-konsep abstrak seperti konversi energi dan prinsip kerja teknologi energi alternatif menjadi permasalahan yang melatarbelakangi penelitian ini. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan e-modul berbantuan *PhET Interactive Simulation* pada materi energi alternatif untuk peserta didik kelas X SMA Negeri 10 Kota Jambi yang memenuhi kriteria kelayakan dan kepraktisan. Penelitian ini menggunakan model pengembangan 4D (*Four-D Model*) yang terdiri dari tahap *define, design, develop, and disseminate*. Validasi dilakukan oleh dua dosen ahli dan satu guru fisika, sedangkan uji kepraktisan dilakukan melalui uji kelompok kecil (20 peserta didik kelas X dan XI) serta uji kelompok besar (30 peserta didik kelas X). Hasil validasi menunjukkan bahwa e-modul memperoleh kategori sangat layak dengan persentase validasi materi tahap II sebesar 83,3% -95% dan validasi media sebesar 81%-93,7%. Hasil uji kepraktisan menunjukkan persentase rata-rata 84% dengan kategori sangat layak. E-modul yang dikembangkan terbukti layak dan praktis sehingga dapat direkomendasikan sebagai bahan ajar pendukung pembelajaran fisika di SMA, khususnya pada materi energi alternatif yang mengintegrasikan model *problem based learning* dengan *PhET Interactive Simulation* untuk memunculkan keterampilan berpikir kreatif peserta didik.

Kata Kunci: E-Modul; *PhET Interactive Simulation*; *Problem Based Learning*; Energi Alternatif

Received: 19 Dec 2025; Revised: 1 Jan 2026; Accepted: 12 Jan 2026; Available Online: 17 Jan 2026

This is an open access article under the CC - BY license.



PENDAHULUAN

Energi alternatif merupakan salah satu topik penting dalam pembelajaran fisika yang memiliki relevansi tinggi dengan tantangan global saat ini, khususnya terkait krisis energi fosil dan perubahan iklim. Kebutuhan akan listrik bagi masyarakat Indonesia sangat tinggi, ditunjukkan data tahun hingga tahun 2023 seiring dengan pertumbuhan ekonomi Indonesia yang ditargetkan mencapai 5,3% (Direktorat jenderal Energi Terbarukan dan Konservasi Energi, 2023) (Solikah, 2024). Kurikulum menempatkan materi energi alternatif sebagai bagian esensial dalam pembelajaran fisika kelas X Fase E dengan harapan peserta didik tidak hanya memahami konsep teoritis tetapi juga mampu mengaitkannya dengan aplikasi nyata dalam kehidupan sehari-hari. Namun, karakteristik materi yang memuat konsep-konsep abstrak seperti konversi energi, efisiensi sistem, dan prinsip kerja berbagai teknologi energi memerlukan pendekatan pembelajaran yang dapat memvisualisasikan fenomena fisis yang kompleks tersebut.

Menurut Rustan (2021), dalam pembelajaran fisika terdapat persamaan matematis dan konsep abstrak yang sulit dijelaskan secara indra oleh peserta didik. Hal tersebut dapat diatasi dengan memberikan visualisasi baik dalam bentuk visualisasi diam seperti gambar, grafik, dan foto maupun dalam bentuk visualisasi bergerak seperti video, pemodelan, dan animasi. Fisika sebagai salah satu mata pelajaran sains dengan pemahaman konsep yang cukup mendalam dan kemampuan mengaitkan fenomena fisis dengan kehidupan sehari-hari. Materi energi alternatif dalam kurikulum merdeka untuk kelas X Fase E merupakan topik yang sangat relevan dengan isu global tentang kritis energi dan berkelanjutan lingkungan. Peserta didik perlu memahami berbagai jenis energi alternatif, prinsip konversinya serta aplikasinya dalam kehidupan nyata. Pemahaman yang komprehensif terhadap materi ini tidak hanya penting untuk pencapaian kompetensi akademik tetapi juga untuk membentuk kesadaran akan pentingnya energi berkelanjutan.

Di era digital saat ini, perkembangan teknologi pendidikan menawarkan peluang besar untuk mengatasi tantangan pembelajaran materi yang kompleks seperti energi alternatif. Teknologi simulasi interaktif dan e-modul memungkinkan visualisasi fenomena fisis yang abstrak menjadi lebih terasa nyata dan mudah dipahami peserta didik. Penelitian yang dilakukan oleh Apriani & Yulkifli, (2022), bahwa tujuan pembelajaran dapat dicapai dengan penggunaan e-modul dengan model pembelajaran berbasis riset. Dengan demikian, penggunaan e-modul dengan model pembelajaran riset adalah efektif untuk meningkatkan kompetensi peserta didik. Namun, pada kenyataannya, pemanfaatan teknologi dalam pembelajaran fisika di banyak sekolah masih terbatas (Sari, 2024).

Keterbatasan ini tidak hanya menghambat pencapaian pemahaman konseptual yang mendalam, tetapi juga mengurangi pendapat peserta didik yang mengatakan bahwa pembelajaran fisika sulit dan juga membosankan. Kemampuan pemahaman konsep peserta didik berperan penting dalam pembelajaran fisika, namun pada kenyataannya kemampuan pemahaman konsep peserta didik masih rendah (Rose et al., 2023). Kesenjangan antara potensi teknologi pendidikan dengan realitas praktik pembelajaran di lapangan mengindikasikan perlunya upaya sistematis dalam mengembangkan dan mengintegrasikan media pembelajaran digital yang berkualitas untuk mendukung pencapaian tujuan pembelajaran materi energi alternatif. Pengembangan bahan ajar digital yang inovatif menjadi kebutuhan mendesak untuk menjembatani kesenjangan ini dan mengoptimalkan proses pembelajaran sesuai dengan tuntutan kurikulum merdeka yang menekankan pembelajaran secara mandiri dan berbasis teknologi.

Berdasarkan observasi awal yang dilakukan di SMA Negeri 10 Kota Jambi, ditemukan ketersediaan bahan ajar fisika jauh dari kata memadai. Guru memang memiliki buku pegangan dasar yang digunakan sebagai bahan ajar terstruktur dan interaktif sesuai tuntutan kurikulum merdeka. Siswa belum memiliki buku khusus sebagai sumber belajar, sehingga proses belajar sangat bergantung pada kejelasan guru atau materi yang diberikan secara lisan. Kondisi ini menyebabkan pembelajaran menjadi kurang optimal karena peserta didik tidak memiliki sumber belajar mandiri yang cukup layak untuk memperdalam pemahaman di luar sekolah. Permasalahan lain yang ditemukan adalah ketidaksesuaian antara buku yang digunakan disekolah dengan kurikulum yang berlaku. Buku yang tersedia masih merupakan buku lama yang memuat materi energi terbarukan, sedangkan pada kurikulum merdeka materi tersebut telah diperbarui menjadi energi alternatif. Meskipun substansi konsepnya sama, perbedaan cakupan materi ini dapat menimbulkan kebingungan bagi peserta didik dan menghambat pencapaian capaian pembelajaran yang telah ditetapkan.

Keterbatasan bahan ajar konvesional dalam menampilkan fenomena fisis yang abstrak juga menjadi kendala dalam pembelajaran energi alternatif. Konsep – konsep seperti konversi energi, prinsip kerja panel surya atau mekanisme pembangkit listrik tenaga angin sulit divisualisasikan hanya melalui teks dan gambar statis. Hal ini berpotensi menyebabkan miskonsepsi dan rendahnya pemahaman konseptual peserta didik terhadap materi yang dipelajari. Perkembangan teknologi pendidikan menawarkan solusi dan mengatasi permasalahan tersebut. E-modul sebagai bahan ajar digital memiliki keunggulan dalam hal *aksesibilitas, fleksibilitas*, dan kemampuan mengintegrasikan berbagai media pembelajaran. E-modul sangat penting sebagai salah satu bahan ajar dengan penerapan teknologi (Yunus et al., 2021). E-modul dapat dilengkapi dengan teks, gambar, video, animasi, dan simulasi interaktif yang memungkinkan peserta didik untuk mengeksplorasi konsep secara mandiri dan mendalam.

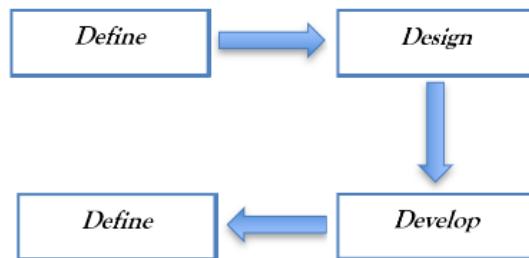
PhET Interactive simulation merupakan platform simulasi untuk pembelajaran sains dan matematika. PhET menyediakan simulasi berbasis problem based *learning* yang memungkinkan peserta didik untuk bereksperimen dengan variabel-variabel fisis dan mengamati dampaknya secara *realtime*. Simulasi PhET telah terbukti efektif dalam meningkatkan pemahaman konsep, motivasi belajar, dan keterampilan berpikir kritis serta keterampilan berpikir kreatif peserta didik dalam berbagai penelitian. Sejalan dengan penelitian Rizaldi et al (2020), media simulasi PhET efektif digunakan untuk membantu pendidik dan peserta didik dalam mempelajari konsep-konsep fisika.

Integrasi PhET Interactive Simulation kedalam e-modul diharapkan memberikan pengalaman belajar yang lebih bermakna bagi peserta didik. Melalui simulasi interaktif, konsep-konsep abstrak dalam materi energi alternatif dapat divisualisasikan dan dieksplorasi secara langsung oleh peserta didik. Peserta didik dapat melakukan eksperimen virtual untuk memahami prinsip kerja berbagai sumber energi alternatif, menganalisis efisiensi konversi energi, dan mengaplikasikan pengetahuan dalam konteks penyelesaian masalah. Berdasarkan

latar belakang diatas, penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan e-modul berbantuan *PhET Interactive Simulation* pada materi energi alternatif untuk peserta didik kelas X SMA Negeri 10 Kota Jambi. Berbeda dengan e-modul yang sudah ada, produk ini mengintegrasikan model *problem based learning* dan *PhET Interactive Simulation* secara sistematis dalam setiap tahap pembelajaran untuk memvisualisasikan konsep abstrak energi alternatif. E-modul yang dikembangkan diharapkan memenuhi kriteria kelayakan dari segi konten, konstruk, dan bahasa, serta terbukti praktis dalam memunculkan keterampilan berpikir kreatif peserta didik sesuai tuntutan Kurikulum Merdeka dan pembelajaran abad 21.

METODE

Penelitian ini menggunakan model 4D (*FourD Model*) yang dikembangkan oleh Thiagarajan Semmel (1974) karena sesuai untuk mengembangkan perangkat pembelajaran secara sistematis melalui empat tahap, yaitu *define* (pendefinisian), *design* (perancangan), *develop* (pengembangan), *disseminate* (penyebaran). Pada tahap pendefinisian dilakukan analisis kebutuhan awal siswa untuk mengetahui kesulitan yang mereka hadapi dalam mempelajari materi energi alternatif, tingkat pemahaman awal, serta kebutuhan terhadap bahan ajar yang lebih interaktif. Analisis kebutuhan ini dilakukan melalui penyebaran instrumen awal untuk peserta didik, dan juga diperkuat melalui wawancara dengan guru mata pelajaran, yang memberikan informasi mengenai kondisi pembelajaran dikelas. Pada tahap *design*, peneliti mulai menyusun rancangan awal e-modul berdasarkan hasil analisis kebutuhan pada tahap sebelumnya dalam bentuk storyboard. Pada tahap *develop*, rancangan e-modul yang telah disusun kemudian dikembangkan menjadi produk awal. Setelah produk awal selesai, e-modul divalidasi oleh ahli materi dan ahli media untuk memastikan kelayakan isi, kualitas, tampilan, serta kejelasan penyajian. Tahap penelitian ini dapat dilihat pada gambar 1.



Gambar 1. Langkah-Langkah Model 4D (Waruwu, 2024)

Validasi e-modul dilakukan oleh dua dosen dan satu guru fisika. Dosen dilibatkan karena memiliki kompetensi akademik dalam menilai kesesuaian materi, struktur konten, serta kualitas desain media pembelajaran. Masukan dari dosen memastikan bahwa e-modul telah memenuhi standar keilmuan dan pedagogis. Sementara itu, guru fisika berperan sebagai validator praktisi yang memahami kondisi pembelajaran sebenarnya dikelas. Guru memberikan penilaian terkait keterbacaan, kesesuaian bahasa, serta kecocokan e-modul dengan kebutuhan dan kurikulum. Keterlibatan kedua pihak ini memastikan bahwa e-modul layak secara teori maupun praktik. Setelah dinyatakan layak oleh para ahli, e-modul diujicobakan melalui uji kelompok kecil dan uji kelompok besar siswa kelas X. Uji kelompok kecil kelas X Fase E dan kelas XI Fase F dilakukan untuk mengetahui respon awal siswa terhadap e-modul, terutama terkait tampilan, alur penyajian, dan kemudahan penggunaan. Hasil uji ini menjadi dasar untuk melakukan revisi awal. Selanjutnya, uji kelompok besar dilakukan pada satu kelas penuh untuk melihat kelayakan e-modul dalam situasi pembelajaran sebenarnya serta menilai bagaimana e-modul membantu siswa memahami materi energi alternatif secara lebih menyeluruh.

Analisis data dalam penelitian ini mencangkup analisis validitas dan kepraktisan. Analisis validitas dilakukan dengan mengolah skor penilaian dari para ahli yang dihitung menggunakan rata-rata untuk menentukan tingkat kelayakan e-modul. Sementara itu, analisis kepraktisan diperoleh dari angket pada uji kelompok kecil dan uji kelompok besar. Skor angket dihitung menggunakan rumus persentase untuk mengetahui tingkat kepraktisan produk.

Skor respon kemudian diubah kebentuk persentase untuk mengetahui tingkat kemudahan penggunaan, kemenarikan e-modul sebagai media pembelajaran. Hasil analisis ini memberikan dasar dalam menilai kualitas dan kelayakan e-modul yang dikembangkan. Untuk memberikan skor pada setiap pernyataan, penelitian ini menggunakan penilaian pada angket observasi awal dan angket penelitian menggunakan skala likert. Skala likert yang digunakan pada penelitian ini dapat dilihat pada tabel 1.

Tabel 1. Skala Penilaian Angket Observasi Awal (Ningtiyas et al., 2021).

Interpretasi	Skor
Sangat Tidak Setuju (STS)	1
Tidak Setuju (TS)	2
Setuju (S)	3
Sangat Setuju (SS)	4

Adapun skala penilaian yang digunakan pada angket penelitian adalah sebagai berikut:

Tabel 2. Skala Penilaian Angket Penelitian (Putri et al., 2016).

Interpretasi	Skor
Sangat Tidak Sesuai (STS)	1
Tidak Sesuai (TS)	2
Sesuai (S)	3
Sangat Sesuai (SS)	4

HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian ini menghasilkan produk pengembangan berupa e-modul pembelajaran yang mengintegrasikan *PhET Interactive Simulation* pada materi energi alternatif yang telah divalidasi dari aspek materi meliputi kesesuaian dan ketepatan materi bahasa dan istilah, penyajian materi dan media, serta evaluasi pembelajaran, dan dari aspek media meliputi tampilan awal, keterbacaan dan konsistensi desain teks, visual, serta navigasi. Modul pembelajaran yang dikembangkan dengan prosedur 4D.

Tahap Pendefinisian (*define*)

Pada tahap pendefinisian, dilakukan beberapa analisis antara laian yaitu analisa awal, analisa peserta didik, analisa konsep dan analisa tugas serta perumusan tujuan pembelajaran. Pada tahap pendefinisian dilakukan analisis kebutuhan untuk mengidentifikasi permasalahan pembelajaran fisika di SMA Negeri 10 Kota Jambi. Berdasarkan hasil observasi dan wawancara dengan guru fisika, ditemukan bahwa ketersediaan bahan ajar fisika jauh dari kata memadai. Guru memang memiliki buku pegangan dasar yang digunakan sebagai acuan mengajar, namun tersedia e-modul yang dapat digunakan sebagai bahan ajar terstruktur dan interaktif sesuai tuntutan kurikulum merdeka. Disekolah juga peserta didik tidak memiliki buku khusus sebagai sumber belajar, sehingga proses belajar sangat bergantung pada penjelasan guru atau materi yang diberikan secara lisan. Selain itu, buku yang digunakan disekolah masih merupakan buku lama yang memuat materi energi terbarukan, sedangkan pada kurikulum terbaru, materi tersebut diperbarui menjadi energi alternatif, meskipun substansi konsepnya sama.

Tahap Perancangan (*design*)

Pada tahap perancangan ini merancang media pembelajaran yang akan dikembangkan untuk terciptanya e-modul pembelajaran materi energi alternatif, bertujuan sebagai media ajar tambahan untuk pemahaman materi. Pada tahap perancangan ini mencangkup pembuatan *Storyboard*. *Storyboard* bertujuan untuk memastikan bahwa setiap lembar tampilan dapat menyampaikan pesannya secara efektif dan efisien. *Storyboard* memegang peranan penting dalam perkembangan media pembelajaran yang berbentuk cetak layout e-modul pembelajaran dirancang untuk mempermudah dalam proses desain dengan fokus pada elemen-elemen yang ada. Hasil tahap tersebut adalah pembuatan *Storyboard* modul pembelajaran yang siap dikembangkan untuk tahap berikutnya.

Tahap Pengembangan (*develop*)

Tahap selanjutnya yaitu pengembangan e-modul yaitu pembuatan rancangan e-modul yang akan diserahkan kepada validator ahli materi, media, dan e-modul untuk dilakukan penilaian kevalidan. Pada tahap pengembangan, e-modul yang telah dirancang divalidasi oleh ahli untuk menilai kelayakan produk. Validasi dilakukan oleh 3 validator yang terdiri dari dua dosen ahli materi dan ahli media, dan satu guru fisika. Proses validasi dilaksanakan dalam dua tahap untuk memberikan kesempatan perbaikan berdasarkan masukan validator. Selanjutnya setelah produk dinyatakan layak oleh validator ahli, kemudian dilakukan uji kepraktisan melalui uji kelompok kecil dan uji kelompok besar terhadap peserta didik kelas X SMA Negeri 10 Kota Jambi dan kelas XI.

Validasi Materi

Data yang diperoleh untuk validasi materi tahap I dan II yaitu terdapat pada Tabel 3.

Tabel 3. Hasil Skor Validasi Materi Tahap I dan Tahap II

No	Aspek	Tahap I (%)	Kategori	Tahap II (%)	Kategori
1	Kesesuaian dan Ketepatan Materi	86%	Sangat Layak	95%	Sangat Layak
2	Bahasa dan Istilah	80%	Layak	83,3%	Sangat Layak
3	Penyajian Materi dan Media	81%	Sangat Layak	87%	Sangat Layak
4.	Evaluasi Pembelajaran	87%	Sangat Layak	87%	Sangat Layak

Berdasarkan hasil validasi materi tahap I oleh tiga validator menunjukkan bahwa media berada pada kategori layak hingga sangat layak. Aspek kesesuaian dan ketepatan materi memperoleh persentase 86% dengan kategori sangat layak. Bahasa dan istilah mendapatkan nilai 80% termasuk layak. Aspek penyajian materi dan media mencapai 81% dengan kategori sangat layak, sedangkan evaluasi pembelajaran memperoleh 87% dan juga termasuk sangat layak. Temuan ini menandakan bahwa materi cukup sesuai namun tetap memerlukan sedikit perbaikan.

Berdasarkan hasil validasi materi tahap II oleh dua validator yang memperoleh kategori sangat layak pada seluruh aspek. Aspek kesesuaian dan ketepatan materi mencapai 95%, bahasa dan istilah 83,3% penyajian materi dan media sebesar 87% serta evaluasi pembelaajaran sebesar 87% secara keseluruhan, hasil ini menegaskan bahwa revisi tahap II meningkatkan kualitas materi menjadi lebih baik.

Validasi Media

Data yang diperoleh untuk validasi media tahap I dan 2 yaitu terdapat pada Tabel 4.

Tabel 4. Hasil Skor Validasi Media Tahap I dan II

No	Aspek	Tahap I (%)	Kategori	Tahap II (%)	Kategori
1	Tampilan Awal	87%	Sangat Layak	93,7%	Sangat Layak
2	Keterbacaan dan Konsistensi Desain	73%	Layak	81%	Sangat Layak
3	Visual	84%	Sangat Layak	84%	Sangat Layak
4	Navigasi	83%	Sangat Layak	91%	Sangat Layak

Berdasarkan hasil validasi media tahap I oleh tiga validator menunjukkan bahwa tampilan awal memperoleh 87% dan termasuk sangat layaak, aspek keterbacaan dan konsistensi desain teks mendapatkan 73% dengan kategori layak. Visual memperoleh 84% dan termasuk sangat layak, sedangkan navigasi mendapat 83% yang juga sangat layak. Hal ini menandakan bahwa media memiliki kualitas visual dan navigasi yang baik meskipun aspek keterbacaan masih perlu peningkatan.

Berdasarkan hasil validasi media tahap II oleh dua validator dengan kategori sangat layak pada seluruh aspek. Tampilan awal mencapai 93,7%, keterbacaan dan konsistenssi desain teks meningkat menjadi 81% visual tetapi tinggi pada angka 84%, dan navigasi mencapai 91%. Hasil ini menunjukkan bahwa perbaikan yang dilakukan pada tahap sebelumnya berhasil meningkatkan kualitas media secara keseluruhan.

Respon Peserta Didik Uji Kelompok Kecil dan Uji Kelompok Besar

Data yang diperoleh untuk respon peserta didik terdapat pada Tabel 5.

Tabel 5. Hasil Angket Respon Peserta Didik Uji Kelompok Kecil Fase E Kelas X

No	Aspek Penilaian	Fase E Kelas X			Fase F Kelas XI		
		Persentase	Rata-Rata (%)	Kategori	Persentase	Rata-Rata (%)	Kategori
1	Kesesuaian Materi	85%			80,4%		
2	Aspek Pembelajaran	87%			74%		
3	Aspek Tampilan dan Penyajian	81%	79,5%	Layak	77%	80%	Layak
4	Navigasi	65%			86%		

Berdasarkan hasil uji coba kelompok kecil pada Fase E Kelas X dengan persentase rata-rata sebesar 79,5% yang termasuk kategori layak. Aspek pembelajaran memperoleh persentase tertinggi yaitu 87%, kesesuaian materi mencapai 85%, aspek tampilan dan penyajian sebesar 81%, sedangkan navigasi memperoleh 65%. Hasil ini menunjukkan bahwa e-modul sudah praktis digunakan meskipun aspek navigasi masih perlu diperbaiki untuk memudahkan pengoperasian oleh peserta didik.

Berdasarkan hasil uji coba kelompok kecil pada Fase F Kelas XI dengan persentase rata-rata sebesar 80% yang termasuk kategori layak. Navigasi memperoleh persentase tertinggi yaitu 86%, kesesuaian materi mencapai 80,4%, aspek tampilan dan penyajian sebesar 77%, sedangkan aspek pembelajaran memperoleh 74%. Hasil ini menunjukkan bahwa perbaikan navigasi yang dilakukan setelah uji coba kelompok kecil berhasil meningkatkan kemudahan pengoperasian e-modul oleh peserta didik.

Data yang diperoleh untuk respon peserta didik kelompok besar terdapat pada Tabel 6.

Tabel 6. Hasil Angket Respon Peserta Didik Kelompok Besar Fase E Kelas X

No.	Aspek penilaian	Persentase	Persentase Rata-rata	Kategori
1.	Kesesuaian Materi	85%		
2.	Aspek Pembelajaran	86%		
3.	Aspek tampilan dan penyajian	86%	84%	Sangat Layak
4.	Navigasi	79%		

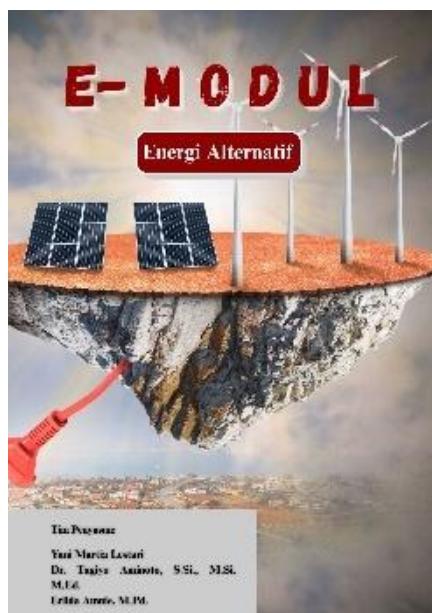
Tabel 6 menunjukkan hasil angket respon peserta didik pada uji kelompok besar Fase E Kelas X dengan persentase rata-rata sebesar 84% yang termasuk kategori sangat layak. Aspek pembelajaran dan aspek tampilan dan penyajian memperoleh persentase tertinggi masing-masing 86%, kesesuaian materi mencapai 85%, sedangkan navigasi memperoleh 79%. Hasil ini menunjukkan bahwa peserta didik memberikan respon yang sangat positif terhadap e-modul yang dikembangkan dan menilai e-modul sangat layak digunakan dalam pembelajaran materi energi alternatif.

Tahap pendefinisian dilakukan melalui analisis kebutuhan di SMA Negeri 10 Kota Jambi untuk mengidentifikasi permasalahan dalam pembelajaran fisika, khususnya pada materi energi alternatif. Berdasarkan hasil observasi dan wawancara dengan guru fisika serta peserta didik, ditemukan bahwa ketersediaan bahan ajar fisika jauh dari memadai. Guru memiliki buku pegangan dasar sebagai acuan mengajar, namun belum tersedia e-modul terstruktur dan interaktif sesuai tuntutan kurikulum merdeka. Disekolah juga tidak memiliki buku khusus untuk digunakan sebagai sumber belajar mandiri, sehingga pembelajaran sangat bergantung pada penjelasan guru secara lisan. Temuan ini sejalan dengan penelitian ([Sembiring & Situmorang, \(2022\)](#), salah satu yang memicu siswa untuk tetap diam ialah metode ceramah, karena sebagian besar upaya pengajaran dilimpahkan keguru, siswa cuma mematuhi).

Ketergantungan pada penjelasan verbal guru tanpa dukungan media yang memadai dapat menghambat pembentukan representasi mental yang akurat tentang konsep-konsep fisika. Permasalahan lain yang teridentifikasi adalah ketidaksesuaian buku yang digunakan dengan kurikulum yang berlaku. Buku yang tersedia masih memuat materi energi terbarukan, sedangkan kurikulum merdeka telah memperbarui menjadi energi alternatif, meskipun subtansi konsepnya masih sama. Hasil analisis kebutuhan menunjukkan bahwa peserta didik memerlukan bahan ajar yang tidak hanya informatif tetapi juga interaktif, dapat diakses secara mandiri, dan mampu memvisualisasikan konsep-konsep fisika yang abstrak. Kebutuhan ini memperkuat argumen bahwa pembelajaran fisika modern memerlukan transformasi pedagogis yang memanfaatkan teknologi untuk mendukung konstruksi pengetahuan aktif oleh peserta didik.

Berdasarkan hasil analisis kebutuhan pada tahap pendefinisian dilakukan perancangan e-modul yang mengintegrasikan *PhET Interactive Simulation*. Tahap perancangan diawali dengan penyusunan *Storyboard* sebagai blueprint pengembangan e-modul. *Storyboard* memuat rancangan struktur konten, alur pembelajaran, tata letak halaman, elemen visual, posisi simulasi *PhET*, serta *navigasi* e-modul. Perancangan e-modul ini didasarkan pada prinsip-prinsip desain pembelajaran multimedia untuk mengoptimalkan proses kognitif peserta didik. *PhET* menjadi pilihan banyak guru dalam melaksanakan praktikum virtual fisika karena memiliki akses gratis dan juga mudah digunakan ([Verdian et al., 2021](#)).

Integrasi *PhET Interactive Simulation* dirancang pada bagian-bagian materi yang memerlukan visualisasi konsep abstrak, seperti prinsip kerja panel surya, turbin angin, pembangkit listrik tenaga air, dan konversi energi biomassa. Keputusan untuk menggunakan *PhET* didasarkan pada karakteristik simulasi yang berbasis problem based learning dan memungkinkan manipulasi variabel secara *real-time*, yang sejalan dengan prinsip pembelajaran *konstruktivistik* dimana peserta didik membangun pengetahuan melalui eksplorasi aktif. Tahap perancangan diawali dengan realisasi *storyboard* menjadi produk e-modul, yang kemudian divalidasi untuk menilai kelayakan dari aspek materi dan media. Validasi dilakukan oleh 3 validator dua dosen ahli media dan materi dan satu orang guru fisika yang berperan sebagai ahli media dan materi. Proses validasi dilakukan dalam dua tahap untuk memberikan kesempatan perbaikan produk berdasarkan masukan validator.



Gambar 2. Tampilan Halaman Sampul

The image displays two screenshots of student activity pages. The left screenshot, labeled page 13, is titled "Ayo Identifikasi" and includes a "Bantuan" section with definitions for various energy forms and changes. It also lists "Langkah Pada Game" and "Langkah Setelah Game". The right screenshot, labeled page 14, is titled "Energy Forms and Changes" and shows a simulation interface with a "Intro" button. Both pages feature a "Tampilkan Penilaian" button at the bottom right. The overall design is colorful and interactive, using icons and a cartoon character.

Gambar 3. Kegiatan Peserta Didik

Pada bagian halaman sampul, desain dibuat menarik dengan kombinasi warna yang selaras dan ilustrasi yang relevan dengan materi pembelajaran sehingga mampu menciptakan kesan awal yang positif serta meningkatkan minat belajar siswa. Selanjutnya, kegiatan pembelajaran siswa dirancang dengan memanfaatkan *PhET Simulation*, di mana siswa doarahkan untuk melakukan eksplorasi konsep melalui pengamatan fenomena, percobaan virtual, serta manipulasi variabel sesuai dengan langkah pembelajaran yang telah disusun. Tampilan *PhET Simulation* yang digunakan disajikan secara visual dan interaktif, sehingga membantu siswa

memvisualisasikan konsep fisika secara lebih konkret dan memudahkan pemahaman materi yang bersifat abstrak.

Model *Problem Based Learning* yang digunakan dalam e-modul dirancang tidak hanya untuk pemahaman konsep, tetapi juga untuk memunculkan keterampilan berpikir kreatif peserta didik. Setiap tahapan dalam sintak PBL memiliki peran yang berbeda dalam memfasilitasi proses berpikir siswa selama pembelajaran berlangsung. Oleh karena itu, diperlukan pemetaan yang jelas antara sintak PBL dan indikator berpikir kreatif agar pengembangan e-modul memiliki dasar pedagogis yang kuat. Hubungan tersebut disajikan dalam tabel 7.

Tabel 7. Hubungan Sintak PBL Dengan Indikator Berpikir Kreatif

Sintak Problem Based Learning	Indikator Berpikir Kreatif
Orientasi siswa terhadap masalah	<i>Fluency</i> (kelancaran), pada tahap ini siswa dihadapkan pada masalah terbuka yang tidak memiliki satu jawaban pasti. Situasi ini mendorong siswa memunculkan berbagai ide dan alternatif penyelesaian, sehingga menumbuhkan kemampuan <i>fluency</i> .
Mengorganisasikan siswa untuk belajar	<i>Flexibility</i> (keluwesan), siswa mengorganisasikan kegiatan belajar melalui diskusi dan kerja kelompok. Proses ini membuat siswa belajar melihat masalah dari berbagai sudut pandang dan menyesuaikan strategi yang berbeda. Inilah yang mencerminkan <i>flexibility</i> atau keluwesan dalam berpikir kreatif.
Membimbing penyelidikan individual maupun kelompok	<i>Originality</i> (orisinalitas), saat penyelidikan berlangsung, siswa diberi kesempatan mencari informasi dan mencoba Solusi dengan cara mereka sendiri. Aktivitas eksploratif ini memungkinkan siswa menciptakan ide baru yang unik dan berbeda dari orang lain, yang menandakan <i>originality</i> dalam berpikir kreatif.
Mengembangkan dan menyajikan hasil karya	<i>Elaboration</i> (penguraian), pada tahap ini, siswa menyusun hasil pemecahan masalah dalam bentuk laporan, proyek, atau presentasi. Proses menjelaskan dan memperinci ide ini menunjukkan memampuan <i>elaboration</i> atau pengurain.
Menganalisis dan mengevaluasi proses pemecahan masalah	<i>Fluency, Flexibility, Originality, Elaboration</i> , tahap evaluasi menjadi puncak penguatan seluruh indikator berpikir kreatif. Dalam proses ini, siswa meninjau Kembali ide-ide yang telah muncul, membandingkan berbagai alternatif Solusi (<i>flexibility</i>), menilai keaslian gagasan (<i>originality</i>), serta menyempurnakan ide agar lebih detail dan logis (<i>elaboration</i>). Evaluasi membuat siswa sadar terhadap kekuatan dan kelemahan berpikir mereka sendiri, sehingga <i>fluency</i> juga meningkat karena refleksi melahirkan ide-ide baru dari proses pembelajaran sebelumnya.

Hasil validasi materi tahap I menunjukkan persentase berkisar antara 80% hingga 87% dengan kategori layak hingga sangat layak. Aspek evaluasi pembelajaran memperoleh persentase tertinggi 87% menunjukkan bahwa instrumen penilaian dalam e-modul telah sesuai dengan indikator pembelajaran dan mampu mengukur pencapaian kompetensi peserta didik. Aspek bahasa dan istilah memperoleh persentase terendah 80%, mengindikasikan perlunya perbaikan pada konsistensi penggunaan istilah ilmiah dan kejelasan kalimat. Temuan ini menarik karena berbeda dengan penelitian Nurul et al (2019), bahwa aspek bahasa dan penilaian PBL memperoleh nilai validitas paling tinggi. Pada penelitian tersebut, kekuatan utama e-modul terletak pada kejelasan istilah, konsistensi bahasa, dan ketepatan penyajian sintaks PBL. Sementara itu, hasil penelitian ini justru menempatkan aspek tampilan awal dan navigasi sebagai komponen yang paling unggul. Perbedaan ini menggambarkan bahwa fokus kualitas media pada masing-masing penelitian dipengaruhi oleh karakteristik materi, dan kebutuhan pengguna yang berbeda.

Setelah revisi berdasarkan masukan validator, validasi materi tahap II menunjukkan peningkatan signifikan dengan persentase antara 83,3% hingga 95%. Peningkatan tertinggi terjadi pada aspek kesesuaian dan ketepatan materi yang meningkat dari 86% menjadi 95%. Pencapaian ini lebih tinggi dibandingkan penelitian Siburian et al (2022), dimana hasil validasi ini terdiri dari beberapa aspek yaitu aspek isi, penyajian, bahasa, dan aspek media. Berdasarkan hasil uji coba validitas yang telah dilakukan diketahui bahwa produk e-modul fluida dinamis yang sudah dibuat berada dalam kategori sangat layak dengan rata-rata persentase validitas isi 84,80%. Dari perspektif teoritik, hasil validasi materi yang tinggi ini mengkonfirmasi bahwa desain instruksional yang didasarkan pada analisis bahan ajar berkualitas tinggi. Hal ini memperkuat proposisi dalam kerangka TPACK

(Technological Pedagogical Content Knowledge) bahwa efektivitas pembelajaran berbasis teknologi memerlukan konvergensi antara pengetahuan konten, pedagogi, dan teknologi.

Hasil validasi media tahap I menunjukkan persentase berkisar antara 73% hingga 87%. Aspek keterbacaan dan konsistensi desain teks memperoleh persentase terendah 73% menunjukkan adanya permasalahan terkait pemilihan font, ukuran teks, dan kontras warna. Temuan ini sejalan dengan penelitian Widianto et al (2024), dalam situasi pembelajaran, pemilihan teks narasi dengan keterbacaan yang sesuai akan meningkatkan efektivitas pembelajaran dan membantu siswa lebih menikmati proses belajar membaca dan memahami. Aspek tampilan awal memperoleh persentase tertinggi 87% menunjukkan bahwa desain e-modul berhasil menciptakan hasil pertama yang positif. Hal ini penting karena bahan ajar yang menarik, relevan, interaktif dan berbasis digital dapat menjadi kunci utama untuk mendorong dan memotivasi siswa agar mereka membaca. Oleh karena itu, perlu adanya inovasi dan pengembangan bahan ajar sesuai dengan kebutuhan peserta didik untuk menciptakan pembelajaran yang lebih efektif serta bermakna (Ismayani et al., 2025). Setelah revisi, validasi media tahap II menunjukkan peningkatan dengan persentase dari 73% menjadi 81% menunjukkan bahwa perbaikan font, kontras warna dan tata letak berhasil meningkatkan kenyamanan membaca. Aspek navigasi juga meningkat dari 83% menjadi 91% mengindikasikan bahwa penyempurnaan sistem *navigasi* berhasil meningkatkan *usability* e-modul.

Setelah dinyatakan layak oleh validator ahli e-modul diujicobakan kelompok kecil untuk mengetahui kepraktisan penggunaan produk. Uji coba kelompok kecil melibatkan 20 peserta didik yang terdiri dari 10 peserta didik kelas X dan 10 orang untuk kelas XI SMA Negeri 10 Kota Jambi. Hasil uji coba kelompok kecil menunjukkan rata-rata 79,5% dengan kategori layak. Aspek pembelajaran memperoleh persentase tertinggi 87% menunjukkan bahwa e-modul efektif dalam mendukung proses pembelajaran. Namun, aspek navigasi memperoleh persentase terendah 65%, mengindikasikan adanya kesulitan peserta didik dalam mengoperasikan e-modul. Temuan ini menarik karena kontras dan hasil validasi ahli yang memberikan penilaian tinggi pada aspek navigasi 91% pada tahap II.

Berdasarkan masukan peserta didik dilakukan revisi meliputi penyempurnaan tombol navigasi dengan ikon yang lebih intuitif. Penyederhanaan menu, serta penambahan fitur *back to menu*. Pendekatan revisi berbasis masukan pengguna ini sejalan dengan prinsip *user centered design* dalam pengembangan teknologi pendidikan. Setelah revisi, dilakukan uji coba kelompok besar yang melibatkan 30 peserta didik kelas X Fase E SMA Negeri 10 Kota Jambi, yang akan mempelajari materi energi alternatif. Uji coba ini dilakukan dalam satu kali pertemuan dalam bentuk simulasi pembelajaran menggunakan e-modul. Hasil uji coba kelompok besar menunjukkan persentase rata-rata 80% dengan kategori layak. Aspek navigasi memperoleh persentase tertinggi 86% menunjukkan peningkatan signifikan dari 65% pada uji coba kelompok kecil. Peningkatan ini mengkonfirmasi bahwa revisi berbasis masukan pengguna efektif dalam meningkatkan *usability* produk.

Proses simulasi pembelajaran menggunakan e-modul menghadapi tantangan signifikan berupa kurang kondusifnya suasana kelas, Peserta didik belum pernah menggunakan *PhET* sebelumnya dan belum memiliki pengalaman mengakses e-modul sebagai bahan ajar, sehingga mereka memerlukan waktu adaptasi yang substansial. Banyak peserta didik mengalami kesulitan teknis dalam mengakses simulasi *PhET*, tidak mengetahui cara memanipulasi variabel, atau terlalu fokus pada aspek interaktif simulasi sehingga kurang memperhatikan tujuan pembelajaran. Untuk mengatasi tantangan ini, peneliti memberikan panduan penggunaan e-modul dan simulasi *PhET* secara detail diawal pembelajaran.

Hasil angket respon peserta didik menunjukkan persentase rata-rata 84% dengan kategori sangat layak. Aspek pembelajaran dan aspek tampilan dan penyajian memperoleh persentase tertinggi 86%, mengindikasikan bahwa peserta didik memberikan apresiasi tinggi terhadap kualitas konten dan desain visual e-modul. Kesesuaian materi mencapai 85%, menunjukkan bahwa peserta didik menilai materi yang disajikan relevan dengan kebutuhan belajar mereka yang menarik. Meskipun *navigasi* memperoleh persentase tertinggi pada uji kepraktisan 86%, dalam respon umum peserta didik aspek *navigasi* memperoleh persentase realtif rendah 79%. Perbedaan ini dapat dijelaskan oleh perbedaan fokus penilaian dalam uji kepraktisan, peserta didik menilai kemudahan teknis penggunaan, sementara dalam respon umum mereka menilai pengalaman holistik yang mencangkap ekspetasi personal dan perbandingan dengan media lain yang pernah mereka gunakan. Respon positif peserta didik dengan persentase 84%.

Penelitian ini berkontribusi pada pengembangan teori desain pembelajaran digital dengan menunjukkan bahwa efektivitas bahan ajar berbasis pada bagaimana teknologi tersebut d'integrasikan dengan prinsip-prinsip pedagogis yang dapat disesuaikan dengan konteks dan karakteristik pengguna. Penelitian ini juga memperluas pemahaman tentang pembelaajaran berbasis simulasi dengan mengidentifikasi faktor-faktor yang mempengaruhi keberhasilan pengembangan. Temuan ini dapat menjadi dasar untuk mengembangkan model implementasi teknologi pembelajaran yang lebih komprehensif pada strategi pengenalan dan pendampingan. Bagi praktisi pendidikan, penelitian ini menyediakan model pengembangan e-modul yang telah terbukti menghasilkan produk berkualitas.

Model penelitian 4D dengan validasi dua tahap dan uji coba bertingkat dapat diadopsi oleh guru atau pengembang untuk materi-materi lain. E-modul yang dikembangkan juga dapat menjadi rujukan template desain yang dapat diadaptasi untuk konteks berbeda. Bagi pembuat kebijakan pendidikan, temuan penelitian ini mendukung pentingnya investasi dalam pengembangan bahan ajar digital berkualitas dan penyediaan pelatihan bagi guru dalam mengintegrasikan teknologi pembelajaran. Tantangan simulasi yang dihadapi menunjukkan bahwa penyediaan infrastruktur teknologi saja tidak cukup, diperlukan juga program pengembangan kapasitas guru dan strategi change management yang efektif. Bagi peneliti temuan ini dan pentingnya uji coba pengguna memberikan pelajaran penting tentang metodologi pengembangan produk pembelajaran. Penelitian lanjutan dapat mengeksplorasi strategi untuk meminimalkan gap ini atau mengembangkan instrumen evaluasi yang lebih komprehensif yang mengintegrasikan perspektif ahli dan pengguna.

Tabel 8. Perbandingan Tabel E-modul yang dikembangkan dan E-modul Internet

E-modul yang dikembangkan (https://shorturl.at/7xhS)	E-modul (https://anyflip.com/asjcm/nasa/basic)
<ul style="list-style-type: none">• E-modul menggunakan model <i>problem based learning</i> berbantuan <i>PhET simulation</i> untuk membantu siswa memahami konsep energi alternatif secara eksploratif dan interaktif.• Setiap tahap pembelajaran dirancang untuk menuntun siswa dalam memunculkan keterampilan berpikir kreatif saat mencari Solusi dari permasalahan nyata.• Simulasi <i>PhET</i> digunakan sebagai media visualisasi konsep fisika yang memuat materi lebih menarik dan mudah dipahami• Integrasi antara PBL dan <i>PhET</i> memberikan pengalaman belajar yang lebih konstekstual, aktif, dan berorientasi pada pemecahan masalah	<ul style="list-style-type: none">• E-modul sudah memuat soal yang mendorong berpikir kreatif, tetapi penggunaan <i>PhET simulation</i> belum dijelaskan secara eksplisit dalam Langkah pembelajaran.• Siswa belum diarahkan secara rinci untuk mengeksplorasi konsep melalui simulasi, seperti mengamati fenomena atau memanipulasi variable.• Tahapan PBL dalam e-modul masih bersifat umum sehingga belum sepenuhnya membimbing siswa dalam proses eksplorasi dan pemecahan masalah.• Pengembangan ide-ide kreatif siswa belum didukung secara mendalam karena alur PBL dan pemanfaatan simulasi belum terintegrasi secara detail.

E-modul yang dikembangkan dinilai layak dan praktis sehingga dapat digunakan serta direkomendasikan bagi guru dan peserta didik SMA secara umum, tidak terbatas pada SMA Negeri 10 Kota Jambi. Hal ini karena e-modul dirancang sesuai dengan karakteristik peserta didik SMA, memiliki tampilan yang menarik, mudah digunakan, serta didukung integrasi model *problem based learning* dan *PhET simulation* yang membantu pemahaman konsep energi alternatif. Selain itu, e-modul ini dapat digunakan sebagai alternatif bahan ajar mandiri maupun pendamping pembelajaran dikelas. Dengan fleksibilitas penggunaan tersebut, e-modul ini berpotensi diterapkan di berbagai sekolah dengan kondisi dan kebutuhan peserta didik disekolah.

Penelitian ini memiliki keterbatasan yang perlu dipertimbangkan dalam menginterpretasikan hasil. Pertama, uji kepraktisan dilakukan dalam satu kali pertemuan, sehingga belum dapat menangkap dampak penggunaan e-modul dalam jangka panjang. Penelitian lanjutan perlu melakukan studi untuk mengetahui efek *retention* pengetahuan. Kedua, penelitian ini belum mengukur efektivitas e-modul dalam meningkatkan hasil belajar secara kuantitatif melalui pretest-posttest. Penelitian lanjutan juga dapat berfokus pada eksperimen komparatif untuk membandingkan efektivitas e-modul dengan metode pembelaajaran konvesional dalam meningkatkan pemahaman konseptual dan hasil belajar peserta didik.

Pembahasan dalam penelitian ini dapat dilihat bahwa pengembangan e-modul berbantuan PhET *Interactive Simulation* dengan model pengembangan 4D berhasil menghasilkan produk yang layak dan praktis untuk pembelajaran energi alternatif. Kelayakan yang tinggi, pada validasi materi, dan media, serta respon positif peserta didik, mengkonfirmasi bahwa integrasi simulasi interaktif dengan desain instruksional yang solid dapat menghasilkan bahan ajar berkualitas tinggi. Penelitian ini memberikan kontribusi teoritis dengan memperkuat dan memperluas pemahaman tentang teori pembelajaran multimedia, konstruktivisme dalam konteks pembelajaran berbasis simulasi. Penelitian ini juga memberikan kontribusi praktis berupa model pengembangan yang dapat diadopsi praktis dan produksi e-modul yang dapat menjadi solusi atas keterbatasan bahan ajar.

SIMPULAN

E-modul pembelajaran berbantuan PhET *Interactive Simulation* pada materi energi alternatif yang dikembangkan dengan model pengembangan 4D dinyatakan layak dan praktis untuk digunakan dalam pembelajaran fisika SMA. Hasil validasi oleh ahli materi dan ahli media menunjukkan kategori sangat layak pada hampir seluruh aspek, baik dari segi kesesuaian materi, bahasa, penyajian, tampilan, maupun navigasi. Temuan ini menunjukkan bahwa e-modul telah memenuhi standar kualitas sebagai bahan ajar digital yang dapat mendukung proses secara mandiri maupun terbimbing. Selain itu, kelayakan tersebut mengindikasikan bahwa e-modul telah disusun sesuai dengan kebutuhan peserta didik dan karakteristik pembelajaran fisika di tingkat SMA. Hasil uji kepraktisan melalui uji kelompok kecil dan uji kelompok besar menunjukkan bahwa e-modul memperoleh respon positif dari peserta didik. Peserta didik menilai e-modul mudah digunakan, tampilannya menarik, serta membantu memahami materi energi alternatif. Kombinasi model problem based learning dan PhET *Interactive Simulation* dalam e-modul juga memberikan pengalaman belajar yang lebih interaktif dan kontekstual. E-modul ini dapat direkomendasikan sebagai bahan ajar pendukung pembelajaran fisika SMA di berbagai sekolah. Sebagai saran, penelitian selanjutnya dapat mengembangkan e-modul pada materi fisika lainnya serta menguji efektivitasnya terhadap peningkatan hasil belajar dan keterampilan berpikir tingkat tinggi peserta didik.

Daftar Pustaka

- Apriani, M. F., & Yulkifli. (2022). Efektivitas E-modul Fisika Menggunakan Model Pembelajaran Berbasis Riset untuk Meningkatkan Kompetensi Peserta Didik SMA di Era Revolusi 4 . 0. *Jurnal Eksakta Pendidikan*, 6(1). <https://ejournal.stkip-siliwangi.ac.id/index.php/semantik/article/download/5696/2151>
- Ismayani, R. M., Damaianti, V. S., Mulyati, Y., & Sastromiharjo, A. (2025). Pengaruh Bahan Ajar Terhadap Motivasi Membaca Siswa SMP. *Semantik*, 14(1), 127–140. <https://doi.org/10.22460/semantik.v14i1.p127-140>
- Ningtiyas, A., Faizah, S. N., & Mustikasari, M. (2021). Pengukuran Usability Sistem Menggunakan USE Questionnaire pada Aplikasi OVO Pendahuluan. *Jurnal Ilmiah Komputasi*, 20, 101–107. <https://ejournal.jak-stik.ac.id/index.php/komputasi/article/download/2701/123>
- Nurul, W., Ruhiyat, Y., Utami, I. S., Studi, P., Fisika, P., Sultan, U., & Tirtayasa, A. (2019). Pengembangan E - Modul Pembelajaran Fisika Berbasis Problem Based Learning (PBL) Pada Materi Usaha dan Energi Untuk Siswa SMA Kelas X. *Prosiding Seminar Nasional Pendidikan Fisika Untirta*, 2(1), 131–136. <https://jurnal.unirta.ac.id/index.php/sendikfi/article/download/9678/6727>
- Putri, D. R., Tinggi, S., Kesehatan, I., & Husada, K. (2016). Peran dukungan sosial dan kecerdasan emosi terhadap kesejahteraan subjektif pada remaja awal. *Jurnal Indigenous*, 1(1), 12–22. <https://journals.ums.ac.id/indigenous/article/download/1770/2396>
- Rizaldi, D. R., Jufri, A. W., & Jamaluddin, J. (2020). PhET: Simulasi Interaktif Dalam Proses Pembelajaran Fisika. *Jurnal Ilmiah Profesi Pendidikan*, 5(1), 10–14. <https://doi.org/10.29303/jipp.v5i1.103>
- Rose, P., Puri, A., & Perdana, R. (2023). Analisis Kemampuan Pemahaman Konsep Fisika Peserta Didik SMA Di Bantul Pada Materi Fluida Statis dan Upaya Peningkatannya Melalui Model Pembelajaran Visualization Auditorium Kinesthetic. *Jurnal Inovasi Pembelajaran Fisika UNWIRA*, 1(2), 93–101. <https://journal.unwira.ac.id/index.php/MAGNETON/article/download/2463/730>

- Rustan. (2021). Pemodelan Gerak 2 Dimensi Berbasis GUI Matlab dengan Ketinggian Awal Tertentu. *Jurnal Berkala Pendidikan Fisika*, 14(2), 99–107. <https://ebook.umpwr.ac.id/index.php/radiasi/article/download/1288/977>
- Sari, A. P. (2024). Pemanfaatan Teknologi Digital dalam Inovasi Pembelajaran untuk Meningkatkan Efektivitas Kegiatan di Kelas. *Teknologi Transformasi Digital*, 4(September), 977–983. <https://itscience-indexing.com/jurnal/index.php/digitech/article/download/5127/3920>
- Sembiring, N. K. B., & Situmorang, R. (2022). Pengembangan E-Modul Pembelajaran Fisika Berbasis Problem Solving Berbantuan Sigil Software Pada Materi Gerak Lurus di SMA Swasta PAB 8 SAENTIS. *Jurnal Inovasi Pembelajaran Fisika*, 10(4). <https://www.academia.edu/download/125593051/19598.pdf>
- Siburian, V. F., Putri, D. H., & Medriati, R. (2022). Pengembangan E-Modul Materi Fluida Dinamis Berbantuan Flip PDF Profesional Untuk Melatihkan Kemampuan Bepikir Kritis Siswa SMA. *Jurnal Ilmu Pembelajaran Fisika*, 1(2). <http://download.garuda.kemdikbud.go.id/article.php>
- Solikah, A. A. (2024). Systematic Indonesia Literature Review Kajian Potensi dan Pemanfaatan Sumber Daya Energi Baru dan Terbarukan Di Indonesia. *JEBT: Jurnal Energi Baru & Terbarukan*, 5(1). <https://doi.org/10.14710/jebt.2024.21742>
- Verdian, F., Jadid, M. A., & Rahmani, M. N. (2021). Studi Penggunaan Media Simulasi PhET dalam Pembelajaran Fisika. *Jurnal Pendidikan Dan Ilmu Fisika*, 1(2), 39–44. <https://doi.org/10.52434/jpif.v1i2.1448>
- 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>
- Widianto, N. A., Putri, R. A., Juniar, A. D., Utami, R. P., Ahammi, F., Purwo, A., & Utomo, Y. (2024). Tingkat Keterbacaan dan Keefektifan Kalimat pada Teks Narasi sebagai Bahan Ajar Membaca Pemahaman di Buku Narasi Literasi Bahasa Indonesia Kelas IX Terbitan Direktorat Pendidikan siswa (Fahmy dkk ., 2021). Mempunyai keterampilan membaca yang baik dapat . *Jurnal Riset Ilmu Pendidikan, Bahasa Dan Budaya*, 2(4). <https://journal.aspirasi.or.id/index.php/Semantik/article/download/1080/1376>
- Yunus, M., Hapsan, A., & Hr, I. S. (2021). Pelatihan Penyusunan Naskah dan Pembuatan E-Modul bagi Guru SMAN 3 Takalar. *Panrannuangku Jurnal Pengabdian Masyarakat*, 1(1). <https://qemsjournal.org/index.php/panrannuangku/article/download/471/313>