

Pengembangan *E-Learning* Berbasis STEM Pada Materi Energi Terbarukan Untuk Melatih Kemampuan Berpikir Kritis Siswa SMA

Mutiara Dier¹, Miftahul Jannah Ritonga², Rhadhiatun Mardiah³, M.Rahmad^{4*}

^{1,2,3,4} Magister Pendidikan Fisika, Universitas Riau, Indonesia

*Email: m.rahmad@lecturer.unri.ac.id

Abstrak

Pendidikan abad ke-21 membutuhkan penguasaan keterampilan berpikir kritis melalui isu-isu terkini seperti energi terbarukan. Penelitian ini bertujuan untuk merancang *e-learning* berbasis STEM dengan tujuan meningkatkan keterampilan ini di kalangan siswa sekolah menengah atas. Kelayakan media dievaluasi oleh tiga ahli berdasarkan desain, pedagogi, konten, dan teknis menggunakan model ADDIE. Selain itu, dilakukan uji kepraktisan dengan 3 guru dan 12 siswa. Hasil penelitian menunjukkan bahwa *e-learning* berbasis STEM berhasil dibuat dalam *platform* Edukati. Validasi ahli mendapatkan skor rata-rata 3,45 (sangat layak) dan uji kepraktisan mendapatkan skor rata-rata 3,66 (sangat praktis). Oleh karena itu, media ini dinyatakan valid dan praktis untuk memfasilitasi pembelajaran fisika kontekstual dan pengembangan kemampuan berpikir kritis siswa. Para peneliti di masa mendatang didorong untuk bereksperimen dengan media ini dalam skala yang lebih besar dan juga menggabungkan kemampuan interaktif yang responsif.

Kata kunci: ADDIE; berfikir kritis; *e-learning*; energi terbarukan.

Abstract

21st-century education requires mastery of critical thinking skills through current issues such as renewable energy. This study aims to design a STEM-based *e-learning* platform with the aim of improving these skills among high school students. The feasibility of the media was evaluated by three experts based on design, pedagogy, content, and technical aspects using the ADDIE model. Furthermore, a practicality test was conducted with 3 teachers and 12 students. The results showed that the STEM-based *e-learning* platform was successfully created within the Edukati platform. Expert validation obtained an average score of 3.45 (very feasible) and the practicality test obtained an average score of 3.66 (very practical). Therefore, this media is declared valid and practical in facilitating contextual physics learning and critical thinking skills. Future researchers are encouraged to experiment with this media on a larger scale and also incorporate responsive interactive capabilities.

Keywords: ADDIE; critical thinking; *e-learning*; renewable energy

Article History: Received: 8 July 2025

Accepted: 28 April

Revised: 28 April 2026

Published: 8 May 2026

How to cite: Dier, M., Ritonga, M. J., Mardiah, R., & Rahmad, M. (2026). *Pengembangan E-Learning Berbasis STEM Pada Materi Energi Terbarukan Untuk Melatih Kemampuan Berpikir Kritis Siswa SMA*, 7 (1). pp. 39-53. <https://doi.org/10.30872/jlpf.v7i1.5366>

Copyright © April 2026, Jurnal Literasi Pendidikan Fisika

PENDAHULUAN

Pendidikan di Indonesia idealnya mampu menghasilkan generasi yang cerdas, mandiri, dan kompeten dalam menghadapi tantangan global abad ke-21. Sistem pendidikan diharapkan menumbuhkan keterampilan berpikir tingkat tinggi (*high order thinking skills*), termasuk berpikir kritis, kreatif, kolaboratif, dan komunikatif. Pemerintah telah menetapkan berbagai kebijakan Kurikulum Merdeka yang memberi ruang inovasi dan pembelajaran kontekstual sebagai bentuk transformasi menuju pendidikan yang ideal (Setyono & Kiono, 2021).

Memasuki era Revolusi Industri 4.0 dan Society 5.0, dunia pendidikan mengalami transformasi besar-besaran. Teknologi digital menjadi bagian integral dalam proses pembelajaran, memungkinkan adanya pembelajaran jarak jauh dan pemanfaatan media digital interaktif. Oleh karena itu, pendidik perlu beradaptasi dengan pembelajaran berbasis teknologi dan menerapkan pendekatan yang mengintegrasikan teknologi, seperti *e-learning*, untuk membentuk generasi yang siap menghadapi tantangan zaman (Parinduri & Parinduri, 2020).

Meskipun demikian, pendidikan di Indonesia terus mengalami berbagai masalah seperti hasil belajar siswa yang buruk, fasilitas yang tidak memadai, dan kurangnya inovasi dalam pembelajaran meskipun telah dilakukan berbagai upaya. Telah terbukti bahwa proses pembelajaran yang berpusat pada guru menghasilkan keterlibatan siswa yang tidak signifikan dalam pembelajaran yang bermakna dan kontekstual, dan akibatnya, pemahaman konseptual yang buruk (Herawati & Muhtadi, 2018; Ramdani *et al.*, 2020). Skenario ini menggambarkan mengapa ada kebutuhan untuk mengadopsi metode pembelajaran baru yang berbasis teknologi agar proses pembelajaran menjadi lebih kontemporer di abad ke-21 (Dywan & Airlanda, 2020).

Kurangnya keterampilan berpikir kritis di kalangan siswa merupakan salah satu masalah utama dalam pendidikan di Indonesia. Siswa terus mengalami masalah dalam mempelajari sains dalam hal pembelajaran sistematis untuk menganalisis, mengevaluasi, dan memecahkan masalah (Priyadi *et al.*, 2018). Selain itu, kesadaran bahwa pembelajaran tidak dirancang untuk merangsang keterampilan berpikir tingkat tinggi (HOTS) merupakan salah satu faktor yang menyebabkan kurangnya pengembangan keterampilan berpikir kritis (Latifah *et al.*, 2020). Hasil penelitian lain juga menunjukkan bahwa tidak adanya penggunaan media pembelajaran interaktif dan kontekstual juga menyebabkan rendahnya tingkat berpikir kritis siswa dalam hal pemahaman mendalam terhadap konsep sains (Chusna, 2019; Supratman & Purwaningtias, 2018).

E-learning menjadi salah satu solusi inovatif untuk mengatasi permasalahan dalam pembelajaran konvensional. Penggunaan e-modul dan media digital dalam pembelajaran telah terbukti meningkatkan partisipasi dan pemahaman siswa karena dapat diakses fleksibel dan menyajikan materi secara visual serta interaktif (Herawati Nita Sunarya, 2018). Selain itu, *e-learning* memungkinkan integrasi pendekatan berbasis proyek dan simulasi yang mendukung pengembangan kemampuan berpikir kritis. Pendekatan *Science, Technology, Engineering, and Mathematics* (STEM) menawarkan solusi untuk mengembangkan keterampilan berpikir kritis siswa melalui aktivitas yang menuntut eksplorasi, pemecahan masalah, dan inovasi. Pembelajaran berbasis STEM terbukti mampu meningkatkan keterampilan berpikir kritis siswa melalui keterlibatan dalam proyek dan eksperimen nyata (Dywan & Airlanda, 2020; Wahyuni, 2021). Melalui STEM, siswa didorong untuk mengaitkan konsep ilmiah dengan teknologi dan rekayasa dalam kehidupan sehari-hari (Latifah *et al.*, 2020).

Materi energi terbarukan sangat cocok digunakan dalam kerangka pendekatan STEM karena secara intrinsik bersifat interdisipliner dalam konteks kehidupan nyata. Pandangan ilmiah tentang energi, teknologi penggunaan energi melalui pembuatan peralatan, rekayasa sistem energi, dan perhitungan efisiensi dengan matematika menjadikan topik ini lengkap dan konkret. Selain itu, isu lingkungan global tentang energi terbarukan dapat mendorong siswa untuk menjadi kreatif, inovatif, dan berpikir kritis untuk mengembangkan solusi berkelanjutan (Parinduri & Parinduri, 2020; Setyono & Kiono, 2021).

Untuk memperkenalkan pendekatan STEM, dibutuhkan media pembelajaran yang interaktif dan fleksibel. Di sinilah *e-learning* memainkan peran kunci. Sebagai jenis pembelajaran yang

memanfaatkan teknologi informasi, e-learning membantu proses pembelajaran terjadi tanpa dibatasi oleh waktu dan ruang serta menawarkan cara belajar yang lebih personal dan mandiri (Casfian *et al.*, 2024). Kemungkinan e-learning menjadi lebih besar lagi ketika difasilitasi oleh pendekatan STEM. E-learning memiliki kemampuan untuk menawarkan kursus online, video, dan simulasi interaktif yang dapat memfasilitasi proses berbasis proyek STEM, yang tujuan utamanya adalah untuk membantu mengembangkan keterampilan berpikir sistematis, kritis, dan kreatif dalam memecahkan masalah dunia nyata (Hasanah, 2020).

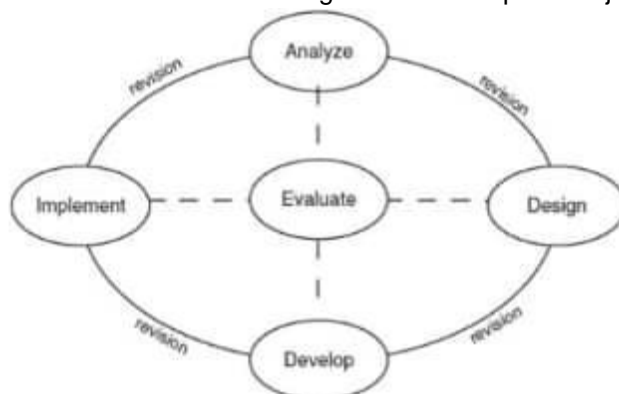
Berbagai temuan penelitian telah menunjukkan manfaat dari mengintegrasikan strategi STEM dan *e-learning*. Pengetahuan konseptual dan minat belajar telah ditemukan meningkat melalui modul yang diajarkan melalui pendekatan STEM (Zulaiha & Kusuma, 2020). Selain itu, pembuatan *e-modul* telah terbukti bermanfaat dalam memperkuat pengetahuan konseptual dan menguasai kemampuan berpikir kritis siswa (Herawati & Muhtadi, 2018; Latifah *et al.*, 2020). Berpikir kritis adalah proses kognitif yang mencakup proses analisis, interpretasi, evaluasi, dan inferensi yang sangat penting dalam pemecahan masalah dan pengambilan keputusan rasional, terutama dalam pembelajaran sains (Herliandry *et al.*, 2018).

Meskipun demikian, masih terdapat kesenjangan penelitian mengenai desain produk yang secara khusus menerapkan strategi STEM dalam sistem *e-learning* pada pelajaran fisika tertentu, termasuk energi terbarukan di sekolah menengah atas. Sebagian besar studi sebelumnya telah berfokus pada efektivitas modul STEM atau *e-modul* secara terpisah. Penelitian ini bertujuan untuk mengisi kesenjangan tersebut dengan mengembangkan produk *e-learning* berbasis STEM serta melakukan pengujian kelayakan mendalam terhadap produk tersebut untuk memastikan kelayakan akademis dan teknisnya sebelum pengujian efektivitas lebih lanjut dilakukan (Herawati & Muhtadi, 2018).

Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan menciptakan media pembelajaran daring (*e-learning*) berbasis STEM topik energi terbarukan yang dapat digunakan (layak dan praktis) dalam pelajaran fisika di sekolah menengah atas. Media ini ditujukan untuk proses pembelajaran yang lebih interaktif dan kontekstual, serta sebagai alat untuk melatih siswa dalam keterampilan berpikir kritis.

METODE

Penelitian ini menerapkan model pengembangan instruksional ADDIE, yang meliputi lima tahapan inti: analisis (*Analysis*), perancangan (*Design*), pengembangan (*Development*), pelaksanaan (*Implementation*), serta evaluasi (*Evaluation*). Model ADDIE dipilih karena mampu memberikan alur sistematis dalam pengembangan media pembelajaran, mulai dari kebutuhan awal hingga evaluasi efektivitas produk (Andi Rustandi & Rismayanti, 2021). Menurut Spatioti *et al.* (2022), model ADDIE efektif digunakan untuk mendesain instruksi pembelajaran berbasis teknologi karena menyediakan struktur yang fleksibel dan mudah disesuaikan dengan kebutuhan pembelajaran digital.



Gambar 1. Tahapan ADDIE (Cahyadi, 2019)

Pengembangan dilakukan hingga tahap uji coba skala kecil untuk mengukur kelayakan produk yang mencakup aspek validitas dan praktikalitas. Hal ini sejalan dengan pendapat (Khalil & Elkhider, 2016),

yang menyatakan bahwa uji coba skala kecil dalam tahap awal pengembangan sangat penting untuk mendapatkan umpan balik awal dari pengguna terhadap desain dan konten media pembelajaran.

Pengumpulan data dilakukan menggunakan instrumen berupa angket berskala Likert 4 poin. Nilai rata-rata pada setiap aspek diperoleh dengan rumus berikut.

$$\bar{X} = \frac{\sum X}{n} \quad (1)$$

Keterangan:

\bar{X} = rata-rata skor

$\sum X$ = total skor

n = jumlah penilai

Skor dari tiap item pada angket dianalisis dengan menghitung rata-rata pada masing-masing aspek, kemudian diklasifikasikan sesuai dengan rentang kategori statistik yang telah ditetapkan sebagai berikut (Khasanah & Nurawati, 2021):

Tabel 1. Kategori Penilaian Validitas

No	Rata-rata	Kategori
1	$3,25 \leq \bar{x} \leq 4,00$	Sangat Layak
2	$2,50 \leq \bar{x} < 3,25$	Layak
3	$1,75 \leq \bar{x} < 2,50$	Kurang Layak
4	$1,00 \leq \bar{x} < 1,75$	Tidak Layak

Penilaian validitas dilakukan oleh ahli materi, ahli media dan ahli konten, sedangkan praktikalitas dinilai oleh pendidik dan peserta didik dalam uji coba terbatas. Rata-rata dari hasil penilaian ini digunakan untuk menentukan sejauh mana produk memenuhi kriteria kelayakan sebagai media pembelajaran berbasis *e-learning* dengan pendekatan STEM.

HASIL DAN PEMBAHASAN

HASIL

a. Analysis

Berdasarkan hasil pengisian angket analisis kebutuhan yang terdiri atas 29 butir pernyataan dengan indikator yang mencakup permasalahan materi, permasalahan pembelajaran, media pembelajaran, dan kebutuhan *e-learning* digital, angket tersebut diberikan kepada 35 siswa sebagai responden penelitian. Tujuan penyebaran angket ini adalah untuk mengetahui kebutuhan siswa terhadap pengembangan media pembelajaran berbasis teknologi pada materi energi terbarukan. Data yang diperoleh dari angket kemudian diolah dengan menghitung persentase tingkat persetujuan siswa terhadap setiap indikator, sehingga dapat memberikan gambaran yang lebih jelas mengenai kebutuhan pembelajaran siswa. Hasil pengolahan data angket tersebut selanjutnya disajikan dalam bentuk tabel sebagai berikut.

Tabel 2. Persentase Analisis Kebutuhan Siswa

No	Indikator	Persentase
1	Permasalahan materi	74 %
2	Permasalahan pembelajaran	71%
3	Media pembelajaran	79%
4	Kebutuhan <i>e-learning</i>	86%

Berdasarkan hasil analisis kuantitatif terhadap angket kebutuhan siswa, diperoleh bahwa indikator kebutuhan *e-learning* digital memiliki persentase tertinggi yaitu 86% dengan kategori sangat tinggi. Hal ini menunjukkan bahwa sebagian besar siswa menginginkan pembelajaran yang memanfaatkan teknologi digital. Selanjutnya, indikator permasalahan media pembelajaran memperoleh persentase

79%, yang menunjukkan bahwa siswa merasa media pembelajaran yang digunakan saat ini masih kurang menarik dan interaktif. Pada indikator permasalahan materi, diperoleh persentase 74%, yang menunjukkan bahwa sebagian besar siswa masih mengalami kesulitan memahami konsep fisika secara mendalam. Sementara itu, indikator permasalahan pembelajaran memperoleh persentase 71%, yang menunjukkan bahwa proses pembelajaran belum sepenuhnya melibatkan siswa secara aktif. Hasil ini mengindikasikan bahwa pengembangan *e-learning* berbasis STEM sangat dibutuhkan untuk meningkatkan kualitas pembelajaran fisika, khususnya pada materi energi terbarukan.

b. Design

Pengembangan *e-learning* pada penelitian ini dirancang menggunakan platform Edukati, yaitu sebuah *Learning Management System* (LMS) lokal yang mendukung penyusunan materi pembelajaran digital berbasis Kurikulum Merdeka dan dapat mengakomodasi pendekatan STEM. Platform ini dipilih karena menyediakan fitur-fitur penting seperti pengunggahan *e-modul* interaktif, video pembelajaran, kuis otomatis, diskusi forum, dan pelaporan kemajuan belajar siswa. Desain *e-learning* disusun berdasarkan sintaks pembelajaran berbasis STEM yang melibatkan tahapan: identifikasi masalah, eksplorasi konsep, desain solusi, dan refleksi hasil. Konten disusun dalam bentuk topik-topik tematik, seperti "Jenis-jenis Energi Terbarukan", "Manfaat dan Dampak Lingkungan", serta "Proyek Mini PLTA Sederhana", yang semuanya disertai ilustrasi, simulasi interaktif, dan tugas berbasis proyek.

Dalam setiap topik, siswa diarahkan untuk menganalisis permasalahan nyata di lingkungan sekitar, kemudian menyelesaikannya dengan menerapkan prinsip sains, teknologi, rekayasa, dan matematika. LKPD digital dan kuis berbasis HOTS juga disematkan untuk melatih keterampilan berpikir kritis. Platform Edukati juga memungkinkan guru untuk memberikan umpan balik secara langsung dan memantau perkembangan siswa secara real time. Keterpaduan fitur-fitur tersebut menjadikan Edukati sebagai media yang efektif untuk mengembangkan *e-learning* interaktif berbasis STEM yang relevan dan kontekstual.

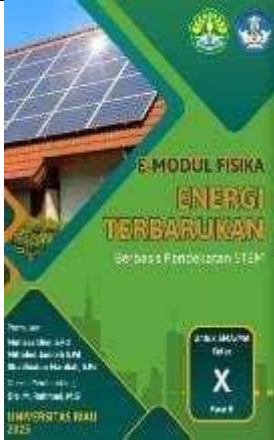




Untuk memberikan gambaran visual mengenai bentuk dan struktur *e-learning* yang dikembangkan, berikut ditampilkan tangkapan layar dari halaman utama *e-learning* berbasis STEM materi energi terbarukan yang dibuat menggunakan platform Edukati. Gambar ini menunjukkan susunan modul yang tersusun secara sistematis, lengkap dengan ikon interaktif, video pembelajaran, simulasi, serta fitur evaluasi yang terintegrasi. Tampilan antarmuka yang sederhana namun fungsional memudahkan siswa dalam mengakses materi, memahami instruksi, serta menyelesaikan tugas dengan lebih mandiri dan fleksibel. Visual ini juga menunjukkan bagaimana konsep STEM diwujudkan dalam bentuk digital yang mendukung pembelajaran aktif dan berbasis masalah.




c. Development

Penyusunan *storyboard* menjadi langkah awal dalam merancang alur penyajian materi *e-learning* berbasis STEM secara sistematis dan terarah. *Storyboard* menggambarkan urutan tampilan, jenis media yang digunakan, aktivitas siswa, serta keterkaitan dengan indikator berpikir kritis yang ingin dikembangkan. Setiap bagian dalam *storyboard* dirancang agar sesuai dengan sintaks pembelajaran berbasis STEM, mulai dari identifikasi masalah hingga refleksi. Keberadaan *storyboard* membantu pengembang dalam menjaga keselarasan antara tujuan pembelajaran, isi materi, dan elemen interaktif yang akan ditampilkan dalam platform *e-learning*. Tabel berikut menyajikan rancangan *storyboard* pada topik energi terbarukan.

Tabel 3. Storyboard pada E-Learning

No	Elemen	Keterangan
1	 <p style="text-align: center;">Pengenalan Edukati</p>	Edukati LMS adalah platform pembelajaran inovatif yang dirancang untuk memperkaya pengalaman belajar STEM. Dimana login terlebih dahulu dengan akun yang sudah di daftarkan.
2	 <p style="text-align: center;">Home</p>	Pada home ada tampilan cover materinya dan penjelasan sedikit mengenai apa saja yang akan dipelajari
3	 <p style="text-align: center;">Dashboard</p>	Pada dashboard akan muncul tampilan cover e-learning terbarukan berbasis STEM
4	 <p style="text-align: center;">Tampilan Kegiatan Apa Saja Yang Ada di Dashboard</p>	Kegiatan Pembelajaran Apa Saja yang akan dilakukan Pada Dashboard (<i>E-Learning</i> Berbasis STEM, Evaluasi, KP 1, KP 2, dan KP 3, Profil Pengembang)

5		E-Modul Lengkap
6		E-LKPD KP 1
7		Video Youtube KP 1
8		Latihan KP 1
9		Diskusi (Google Meeting)

10	<p style="text-align: center;">PENGERTIAN ENERGI DAN BENTUK-BENTUK ENERGI</p> 	Gramedia; Materi Tambahan
11	<p>Riau memiliki peran ganda sebagai salah satu "lumbung ikan dan energi" yang penting bagi Indonesia, karena wilayah Riau berbatasan dengan Selat Malaka dan laut china selatan, serta memiliki sumber-sumber ikan yang kaya akan potensi sumber daya ikan.</p> <p>Perikanan perair Riau menjadi habitat bagi berbagai jenis ikan, termasuk ikan pelagis dan ikan karang, yang menjadi sumber mata pencaharian utama bagi masyarakat lokal, terutama yang tinggal di sepanjang garis pantai dan sungai-sungai besar. Masyarakat tradisional dan nelayan kecil mengandalkan perikanan sebagai sumber pendapatan keluarga.</p> <p>Riau tangkapan ikan dan hasil perikanan lainnya dipasarkan di pasar lokal maupun pasar regional, memberikan kontribusi penting bagi perekonomian lokal dan regional. Selain itu, hasil perikanan yang melimpah di sepanjang pantai Riau juga memberikan lingkungan yang penting bagi reproduksi dan pertumbuhan ikan. Sehingga menjadikan Riau sebagai lumbung ikan yang berkontribusi pada produktivitas perikanan Indonesia.</p>	Kaitan materi dengan Riau
12		Absensi (Google Document)
13		Evaluasi
14		Profil Pengembang



Uji Validitas

Penilaian validitas *e-learning* dilakukan oleh para ahli melalui instrumen lembar validasi yang mencakup empat aspek utama, yaitu aspek desain, pedagogik, konten, dan teknis. Aspek desain menilai tampilan visual dan keterpaduan antar bagian, aspek pedagogik menilai kesesuaian strategi pembelajaran dengan karakteristik siswa, aspek konten menilai kebenaran dan kelengkapan materi, sedangkan aspek teknis menilai kelancaran akses serta fungsionalitas media. Validasi ini bertujuan memastikan bahwa *e-learning* yang dikembangkan layak digunakan dalam proses pembelajaran serta mampu mendukung pencapaian tujuan pendidikan secara optimal. Berikut ini menyajikan hasil penilaian validitas berdasarkan keempat aspek tersebut pada Tabel 4.

Tabel 4. Validitas E-Learning Berdasarkan Para Ahli

No	Aspek	Rata-rata	Kategori
1	Desain	3,40	Sangat Layak
2	Pedagogik	3,60	Sangat Layak
3	Konten	3,40	Sangat Layak
4	Teknis	3,40	Sangat Layak

Berdasarkan hasil validasi yang dilakukan oleh tiga orang ahli, *e-learning* yang dikembangkan memperoleh nilai rata-rata pada empat aspek, yaitu desain (3,40), pedagogik (3,60), konten (3,40), dan teknis (3,40) dengan kategori sangat layak. Hasil tersebut menunjukkan bahwa *e-learning* telah memiliki tampilan yang menarik, penyajian materi yang sesuai dengan Kurikulum Merdeka, serta fitur teknis yang mudah diakses dan digunakan. Dengan demikian, *e-learning* berbasis STEM yang dikembangkan dinilai layak digunakan dalam proses pembelajaran dengan beberapa perbaikan minor sesuai saran dari para ahli.

d. Implementasi

Hasil uji praktikalitas terhadap guru menunjukkan bahwa media *e-learning* berbasis STEM tergolong praktis untuk digunakan dalam pembelajaran. Penilaian dilakukan oleh pendidik berdasarkan empat aspek, yaitu kemudahan penggunaan, kesesuaian materi, dampak terhadap pembelajaran, dan efisiensi waktu dan pelaksanaan. Hasil uji praktikalitas pada pendidik terdapat pada gambar Tabel 5.

Tabel 5. Praktikalitas E-Learning Berdasarkan Respon Pendidik

No	Indikator	Rata-rata	Kategori
1	Kemudahan penggunaan	3,83	Sangat Praktis
2	Kesesuaian materi	3,50	Sangat Praktis
3	Dampak terhadap pembelajaran	3,67	Sangat Praktis
4	Efisiensi waktu dan pelaksanaan	3,50	Sangat Praktis

Berdasarkan hasil uji kepraktisan oleh guru, *e-learning* yang dikembangkan memperoleh kategori sangat praktis pada seluruh indikator. Aspek kemudahan penggunaan memperoleh skor rata-rata 3,83,

yang menunjukkan bahwa media mudah diakses dan memiliki petunjuk penggunaan yang jelas. Aspek kesesuaian materi memperoleh skor 3,50, menandakan bahwa materi telah sesuai dengan kurikulum dan didukung oleh komponen seperti *e-modul* dan video pembelajaran. Selanjutnya, aspek pengaruh terhadap proses pembelajaran memperoleh skor 3,67, yang menunjukkan bahwa media mampu meningkatkan efektivitas pembelajaran serta partisipasi siswa. Sementara itu, aspek efisiensi waktu dan pelaksanaan memperoleh skor 3,50, yang menunjukkan bahwa media dapat digunakan secara fleksibel baik dalam pembelajaran daring maupun luring. Secara keseluruhan, hasil ini menunjukkan bahwa *e-learning* yang dikembangkan praktis digunakan dalam proses pembelajaran.

Uji praktikalitas terhadap peserta didik dilakukan untuk mengetahui sejauh mana media *e-learning* berbasis STEM yang dikembangkan dapat digunakan secara efektif oleh peserta didik dalam proses pembelajaran. Hasil uji praktikalitas terhadap siswa dapat dilihat pada Tabel 6.

Tabel 6. Praktikalitas *E-Learning* Berdasarkan Respon Peserta didik

No	Indikator	Rata-rata	Kategori
1	Kemudahan penggunaan	3,75	Sangat Praktis
2	Kesesuaian materi	3,73	Sangat Praktis
3	Dampak terhadap pembelajaran	3,73	Sangat Praktis
4	Efisiensi waktu dan pelaksanaan	3,53	Sangat Praktis

Berdasarkan hasil uji kepraktisan oleh peserta didik, *e-learning* yang dikembangkan memperoleh kategori sangat praktis pada sebagian besar aspek. Indikator kemudahan penggunaan memperoleh skor rata-rata 3,75, yang menunjukkan bahwa siswa dapat mengoperasikan *e-learning* dengan mudah serta mengakses berbagai konten seperti *e-modul*, *e-LKPD*, dan video pembelajaran tanpa hambatan. Indikator kenyamanan dan keterlibatan serta kejelasan dan kelengkapan materi masing-masing memperoleh skor 3,73, yang menunjukkan bahwa media mampu menciptakan pengalaman belajar yang menyenangkan dan materi yang disajikan mudah dipahami. Sementara itu, aspek dampak terhadap pembelajaran memperoleh skor rata-rata 3,53, yang menunjukkan bahwa *e-learning* membantu meningkatkan semangat belajar dan mendorong siswa untuk berpikir lebih kritis. Secara keseluruhan, hasil ini menunjukkan bahwa *e-learning* yang dikembangkan praktis digunakan dalam pembelajaran.

e. Evaluation

Evaluasi pada tahap analisis dilakukan untuk menilai sejauh mana identifikasi kebutuhan pembelajaran telah mencerminkan kondisi riil peserta didik dan kurikulum yang berlaku. Berdasarkan hasil angket analisis kebutuhan yang telah disebar, ditemukan bahwa sebagian besar siswa mengalami kesulitan dalam memahami konsep fisika secara kontekstual, terutama pada materi energi terbarukan. Siswa juga menunjukkan minat yang tinggi terhadap pembelajaran berbasis digital dan interaktif. Hal ini menunjukkan bahwa arah pengembangan *e-learning* berbasis STEM telah sesuai dengan kebutuhan dan karakteristik siswa.

Evaluasi tahap desain dilakukan melalui penelaahan struktur pembelajaran dan penyusunan *storyboard* oleh ahli, guna memastikan bahwa alur *e-learning* telah sesuai dengan sintaks pembelajaran STEM dan capaian kompetensi yang ditargetkan. Hasil evaluasi menunjukkan bahwa urutan pembelajaran telah mengintegrasikan aktivitas sains, teknologi, rekayasa, dan matematika secara berkesinambungan. *Storyboard* juga dinilai memadai dalam mendukung alur kognitif peserta didik, serta menyediakan aktivitas yang mendorong keterampilan berpikir kritis. Evaluasi desain ini mendukung prinsip bahwa perencanaan instruksional yang baik harus diuji secara sistematis sebelum dikembangkan ke tahap selanjutnya.

Evaluasi pada tahap pengembangan dilakukan melalui validasi ahli yang mencakup empat aspek utama: desain, pedagogik, konten, dan teknis. Hasil validasi menunjukkan bahwa *e-learning* yang dikembangkan memperoleh nilai rata-rata 3,32 yang tergolong dalam kategori layak hingga sangat layak. Aspek desain dan teknis memperoleh nilai tertinggi, yaitu 3,27 dan 3,73, menandakan bahwa

tampilan *e-learning* telah menarik dan mudah diakses. Sementara itu, aspek pedagogik dan konten berada pada kategori layak, menunjukkan bahwa masih terdapat ruang perbaikan dalam penyajian konten berbasis HOTS dan penguatan strategi pembelajaran kolaboratif.

Uji praktikalitas dilakukan dengan melibatkan peserta didik dan pendidik melalui penggunaan terbatas *e-learning* dalam proses pembelajaran. Berdasarkan hasil angket praktikalitas yang diisi oleh peserta didik, diperoleh skor rata-rata di atas 3,20, yang mengindikasikan bahwa siswa merasa *e-learning* mudah digunakan, menarik, serta membantu dalam memahami materi energi terbarukan. Guru juga memberikan tanggapan positif, menyatakan bahwa media ini membantu proses pembelajaran dan mendorong keterlibatan aktif siswa. Praktikalitas yang tinggi mencerminkan bahwa media telah memenuhi aspek kemudahan penggunaan, keterpahaman, dan kebermanfaatannya dalam konteks pembelajaran riil.

PEMBAHASAN

Penelitian ini dilaksanakan pada semester genap tahun pelajaran 2024/2025 di SMK Nurul Falah Pekanbaru. Berdasarkan hasil pengisian angket analisis kebutuhan yang terdiri atas 29 butir pernyataan dengan empat indikator utama, yaitu permasalahan materi, permasalahan pembelajaran, media pembelajaran, dan kebutuhan *e-learning* digital, diperoleh bahwa sebagian besar siswa masih mengalami kesulitan dalam memahami konsep dasar fisika serta mengaitkannya dengan fenomena kehidupan sehari-hari. Selain itu, pada aspek pembelajaran, siswa merasa kurang dilibatkan secara aktif dalam proses belajar dan mengalami kesulitan ketika dihadapkan pada soal-soal yang menuntut penalaran dan logika ilmiah. Siswa juga mengungkapkan bahwa pembelajaran jarang mengangkat permasalahan nyata yang terjadi di lingkungan sekitar sehingga materi yang dipelajari terasa kurang kontekstual.

Di sisi lain, hasil analisis juga menunjukkan bahwa media pembelajaran yang digunakan selama ini dinilai kurang menarik dan kurang interaktif. Mayoritas siswa menyatakan lebih tertarik apabila materi disajikan dalam bentuk simulasi, animasi, maupun visualisasi berbasis STEM karena dianggap lebih mudah dipahami dan mampu meningkatkan keterlibatan dalam pembelajaran. Selain itu, indikator kebutuhan *e-learning* digital menunjukkan persentase tertinggi, yang menandakan bahwa siswa memiliki antusiasme tinggi terhadap penggunaan platform digital dalam pembelajaran. Siswa merasa terbantu apabila materi disediakan secara daring dan dapat diakses kapan saja, terutama jika dilengkapi dengan video pembelajaran, eksperimen virtual, serta LKPD interaktif. Temuan ini menunjukkan bahwa siswa siap beradaptasi dengan pembelajaran berbasis teknologi sehingga pengembangan *e-learning* berbasis STEM menjadi relevan untuk mendukung pembelajaran yang lebih fleksibel, menarik, dan mampu meningkatkan keterampilan berpikir kritis siswa.

Berdasarkan hasil validasi yang dilakukan oleh tiga orang ahli, *e-learning* berbasis STEM yang dikembangkan memperoleh nilai rata-rata pada empat aspek utama, yaitu desain, pedagogik, konten, dan teknis dengan kategori sangat layak. Aspek desain memperoleh skor rata-rata 3,40, yang menunjukkan bahwa tampilan visual, tata letak, pemilihan font, ikon, serta ilustrasi dalam *e-learning* dinilai mampu menarik perhatian siswa dan memudahkan dalam memahami materi. Temuan ini sejalan dengan penelitian (Supratman & Purwaningtias, 2018) yang menyatakan bahwa media *e-learning* dengan tampilan yang menarik serta navigasi yang jelas dapat meningkatkan minat belajar dan kenyamanan pengguna dalam proses pembelajaran. Selain itu, aspek pedagogik memperoleh skor rata-rata 3,60, yang menunjukkan bahwa *e-learning* telah menyajikan tujuan pembelajaran secara jelas serta mendorong siswa untuk berpikir kritis dan memecahkan masalah melalui pendekatan STEM. Hal ini juga mendukung pendapat (Chusna, 2019) yang menyatakan bahwa pembelajaran *e-learning* akan lebih efektif apabila mampu memfasilitasi partisipasi aktif serta interaksi antarsiswa dalam proses pembelajaran daring.

Selanjutnya, pada aspek konten diperoleh skor rata-rata 3,40 yang menunjukkan bahwa materi yang disajikan telah sesuai dengan Kurikulum Merdeka dan kebutuhan siswa SMA, meskipun masih diperlukan penguatan pada penyusunan soal evaluasi berbasis HOTS serta kelengkapan umpan balik

pada latihan. Temuan ini sejalan dengan penelitian (Ramdani *et al.*, 2020) yang menyatakan bahwa kualitas konten dalam *e-learning* perlu dirancang secara optimal agar mampu membangun pemahaman konseptual dan keterampilan berpikir tingkat tinggi. Sementara itu, aspek teknis juga memperoleh skor rata-rata 3,40, yang menunjukkan bahwa *e-learning* dapat diakses dengan baik di berbagai perangkat, video berjalan dengan lancar, serta navigasi yang mudah digunakan oleh siswa. Kondisi ini mendukung keberhasilan implementasi pembelajaran digital sebagaimana ditegaskan oleh (Supratman & Purwaningtias, 2018) bahwa aspek teknis menjadi salah satu faktor penting dalam keberhasilan penggunaan media *e-learning* yang efektif dan berkelanjutan. Secara keseluruhan, hasil validasi tersebut menunjukkan bahwa *e-learning* berbasis STEM yang dikembangkan telah memenuhi kriteria kelayakan untuk digunakan sebagai media pembelajaran.

Berdasarkan hasil uji praktikalitas oleh tiga orang guru, *e-learning* berbasis STEM yang dikembangkan memperoleh kategori sangat praktis pada beberapa indikator utama, yaitu kemudahan penggunaan, kesesuaian materi, pengaruh terhadap proses pembelajaran, serta efisiensi waktu dan pelaksanaan. Pada indikator kemudahan penggunaan diperoleh skor rata-rata 3,83, yang menunjukkan bahwa *e-learning* mudah diakses, memiliki petunjuk penggunaan yang jelas, dan tidak menimbulkan kendala bagi guru dalam pengoperasiannya. Temuan ini menunjukkan bahwa media yang dikembangkan telah memenuhi aspek kemudahan dan kenyamanan penggunaan, yang selaras dengan prinsip desain pembelajaran pada model pengembangan ADDIE sebagaimana dijelaskan oleh (Andi Rustandi & Rismayanti, 2021).

Pada indikator kesesuaian materi diperoleh skor rata-rata 3,50 dengan kategori sangat praktis. Guru menilai bahwa materi yang disajikan dalam *e-learning* telah sesuai dengan kurikulum yang berlaku dan didukung oleh komponen pembelajaran seperti *e-modul* dan video yang saling melengkapi. Selain itu, konten pembelajaran dinilai mampu merangsang pengembangan kemampuan berpikir kritis siswa. Hal ini menunjukkan bahwa pendekatan STEM yang diterapkan dalam media pembelajaran telah relevan dengan kebutuhan materi dan capaian pembelajaran, sebagaimana dikemukakan oleh (Pangesti *et al.*, 2017) bahwa integrasi STEM dapat meningkatkan pemahaman konsep dan kemampuan penalaran siswa.

Selanjutnya, pada indikator pengaruh terhadap proses pembelajaran diperoleh skor rata-rata 3,67, yang menunjukkan bahwa penggunaan *e-learning* memberikan kontribusi positif terhadap efektivitas pembelajaran serta mampu meningkatkan partisipasi dan motivasi belajar siswa. Sementara itu, pada indikator efisiensi waktu dan pelaksanaan diperoleh skor rata-rata 3,50, yang menunjukkan bahwa media dapat digunakan secara fleksibel baik dalam pembelajaran daring maupun luring serta sesuai dengan alokasi waktu pembelajaran. Temuan ini sejalan dengan pendapat (Wahyuni, 2021) yang menyatakan bahwa pembelajaran berbasis STEM dapat mendorong keaktifan dan kemandirian belajar siswa, serta didukung oleh temuan (Khalil & Elkhider, 2016) bahwa media pembelajaran digital yang baik harus memperhatikan efisiensi waktu dan fleksibilitas pelaksanaan.

Selain penilaian guru, uji praktikalitas juga dilakukan kepada 12 peserta didik dan menunjukkan hasil yang tergolong baik hingga sangat baik. Aspek kemudahan penggunaan memperoleh skor rata-rata 3,75, sedangkan aspek kenyamanan dan keterlibatan serta kejelasan materi masing-masing memperoleh skor 3,73, yang menunjukkan bahwa siswa dapat mengoperasikan media dengan mudah serta memahami materi yang disajikan melalui *e-modul* dan video pembelajaran. Temuan ini mendukung penelitian (Latifah *et al.*, 2020) yang menyatakan bahwa media pembelajaran digital yang dikembangkan secara optimal terbukti dapat membantu siswa memahami konsep dengan lebih baik. Selain itu, aspek dampak terhadap pembelajaran memperoleh skor 3,53, yang menunjukkan bahwa *e-learning* mampu mendorong siswa untuk berpikir lebih kritis serta meningkatkan kemandirian belajar, sebagaimana dikemukakan oleh (Hess & Greer, 2016) bahwa media digital dapat mendukung pembelajaran berbasis *self-regulated learning*. Temuan ini mengindikasikan bahwa *e-learning* berbasis STEM yang dikembangkan memiliki tingkat kepraktisan yang baik serta dapat mendorong pembelajaran yang lebih aktif dan bermakna.

Evaluasi yang dilakukan pada setiap tahap pengembangan dalam penelitian ini bertujuan untuk

memastikan keselarasan *e-learning* dengan kebutuhan pembelajaran. Hasil analisis kebutuhan menunjukkan bahwa siswa menginginkan pembelajaran yang lebih kontekstual, interaktif, dan terintegrasi dengan teknologi digital. Temuan ini menunjukkan bahwa pengembangan *e-learning* berbasis STEM merupakan langkah yang tepat untuk mendukung proses pembelajaran. Hal ini sejalan dengan pendapat (Yanti *et al.*, 2025) yang menyatakan bahwa evaluasi pada tahap awal pengembangan penting dilakukan untuk memastikan bahwa perencanaan instruksional didasarkan pada kebutuhan pembelajaran yang nyata.

Selanjutnya, evaluasi pada tahap desain dan pengembangan menunjukkan bahwa *e-learning* yang dirancang telah memperhatikan kesesuaian alur pembelajaran dengan pendekatan STEM serta tujuan pembelajaran yang ingin dicapai. Proses penelaahan oleh ahli juga memastikan bahwa struktur pembelajaran, materi, serta fitur yang disediakan mampu mendukung aktivitas belajar yang bermakna bagi siswa. Hal ini sesuai dengan prinsip bahwa perencanaan instruksional perlu melalui proses evaluasi yang sistematis sebelum diimplementasikan dalam pembelajaran (Casfian *et al.*, 2024). Selain itu, hasil implementasi terbatas menunjukkan bahwa *e-learning* yang dikembangkan dapat digunakan dengan baik dalam proses pembelajaran serta mampu meningkatkan keterlibatan siswa. Temuan ini sejalan dengan pendapat (Cholily *et al.*, 2019) serta (Supratman & Purwaningtiyas, 2018) yang menegaskan bahwa keberhasilan media *e-learning* tidak hanya ditentukan oleh kualitas teknisnya, tetapi juga oleh kemampuannya dalam mendukung aktivitas belajar yang aktif dan bermakna bagi peserta didik.

PENUTUP

Berdasarkan hasil penelitian, *e-learning* berbasis pendekatan STEM pada materi energi terbarukan dinyatakan memiliki tingkat validitas dan praktikalitas yang tinggi, sehingga layak digunakan sebagai media pembelajaran fisika di jenjang SMA. Penilaian dari para ahli menunjukkan bahwa media yang dikembangkan telah memenuhi aspek desain, isi materi, pedagogik, dan teknis sehingga dinyatakan valid. Tingkat kepraktisan media ditunjukkan oleh kemudahan penggunaan, tampilan yang menarik, serta akses yang mudah bagi guru dan siswa. Hasil penelitian ini mengarah pada kesimpulan bahwa *e-learning* berbasis STEM berpotensi menjadi alternatif media pembelajaran digital yang sesuai dengan tuntutan abad ke-21. Namun, penelitian ini masih memiliki keterbatasan karena belum mengkaji efektivitas media dalam meningkatkan hasil belajar dan kemampuan berpikir kritis siswa secara eksperimen maupun dalam jangka panjang. Oleh karena itu, penelitian selanjutnya disarankan untuk melakukan uji efektivitas dengan jumlah subjek yang lebih besar serta menambahkan fitur pendukung seperti evaluasi adaptif dan umpan balik otomatis guna meningkatkan mutu pembelajaran.

DAFTAR PUSTAKA

- Andi Rustandi, & Rismayanti. (2021). Penerapan Model ADDIE dalam Pengembangan Media Pembelajaran di SMPN 22 Kota Samarinda. *Jurnal Fasilkom*, 11(2), 57–60. <https://doi.org/10.37859/jf.v11i2.2546>
- Cahyadi, R. A. H. (2019). Pengembangan Bahan Ajar Berbasis Addie Model. *Halaqa: Islamic Education Journal*, 3(1), 35–42. <https://doi.org/10.21070/halaqa.v3i1.2124>
- Casfian, F., Fadhillah, F., Septiaranny, J. W., Nugraha, M. A., & Fuadin, A. (2024). Efektivitas Pembelajaran Berbasis Teori Konstruktivisme Melalui Media E-Learning. *Pediaqu: Jurnal Pendidikan Sosial Dan Humaniora*, 3(2), 636–648. http://repo.iain-tulungagung.ac.id/5510/5/BAB_2.pdf
- Cholily, Y. M., Putri, W. T., & Kusgiarohmah, P. A. (2019). Pembelajaran di Era Revolusi Industri 4.0. *Seminar Nasional Penelitian Pendidikan Matematika (SNP2M) 2019 UMT*, 1–6. <http://jurnal.umat.ac.id/index.php/cpu/article/view/1674/1068>
- Chusna, N. L. U. (2019). Pembelajaran E-Learning. *Prosiding Seminar Nasional Pendidikan KALUNI*, 2, 113–117. <https://doi.org/10.30998/prokaluni.v2i0.36>

- Dywan, A. A., & Airlanda, G. S. (2020). Efektivitas Model Pembelajaran Project Based Learning Berbasis STEM dan Tidak Berbasis STEM terhadap Kemampuan Berpikir Kritis Siswa. *Jurnal Basicedu*, 4(2), 344–354. <https://doi.org/10.31004/basicedu.v4i2.353>
- Hasanah, U. (2020). Key Definitions of STEM Education: Literature Review. *Interdisciplinary Journal of Environmental and Science Education*, 16(3), e2217. <https://doi.org/10.29333/ijese/8336>
- Herawati, N. S., & Muhtadi, A. (2018). Pengembangan modul elektronik (e-modul) interaktif pada mata pelajaran Kimia kelas XI SMA [Development of interactive electronic modules (e-modules) in Chemistry subjects for grade XI high school.]. *Jurnal Inovasi Teknologi Pendidikan*, 5(2), 180–191.
- Herawati Nita Sunarya, A. M. (2018). *interaktif pada mata pelajaran Kimia kelas XI IPA SMA, (2) mengetahui tingkat kelayakan produk*. 5(2), 180–191.
- Herliandry, L. D., Harjono, A., & 'Ardhuha, J. (2018). Kemampuan Berpikir Kritis Fisika Peserta Didik Kelas X dengan Model Brain Based Learning. *Jurnal Penelitian Pendidikan IPA*, 5(1). <https://doi.org/10.29303/jppipa.v5i1.166>
- Hess, A. K. N., & Greer, K. (2016). Designing for engagement: Using the ADDIE model to integrate high-impact practices into an online information literacy course. *Communications in Information Literacy*, 10(2), 264–282. <https://doi.org/10.15760/comminfolit.2016.10.2.27>
- Khalil, M. K., & Elkhider, I. A. (2016). Applying learning theories and instructional design models for effective instruction. *Advances in Physiology Education*, 40(2), 147–156. <https://doi.org/10.1152/advan.00138.2015>
- Khasanah, I., & Nurmawati, I. (2021). Pengembangan Modul Digital sebagai Bahan Ajar Biologi untuk Siswa Kelas XI IPA. *Indonesian Journal of Mathematics and Natural Science Education*, 2(1), 34–44. <https://doi.org/10.35719/mass.v2i1.57>
- Latifah, N., Setyadi Kurniawan, E., kunci, K., Flipbook Maker, K., & Berpikir Kritis, K. (2020). Pengembangan e-Modul Fisika Untuk Meningkatkan Kemampuan Berpikir Kritis Peserta Didik Development of Physics E-Modules to Improve Critical Thinking Ability of Students. *Jips: Jurnal Inovasi Pendidikan Sains*, 01, 1–7. <http://jurnal.umpwr.ac.id/index.php/jips>
- Pangesti, K. I., Yulianti, D., & Sugianto. (2017). Bahan Ajar Berbasis STEM (Science, Technology, Engineering, and Mathematics) untuk Meningkatkan Penguasaan Konsep Siswa SMA. *Unnes Physics Education Journal*, 6(3), 53–58. <http://journal.unnes.ac.id/sju/index.php/ujep>
- Parinduri, L., & Parinduri, T. (2020). Konversi Biomassa Sebagai Sumber Energi Terbarukan. *Journal of Electrical Technology*, 5(2), 88–92. <https://www.dosenpendidikan.com>
- Priyadi, R., Mustajab, A., Tatsar, M. Z., & Kusairi, S. (2018). Analisis Kemampuan Berpikir Kritis Siswa SMA Kelas X MIPA dalam Pembelajaran Fisika. *April*. <https://doi.org/10.22487/j25805924.2018.v6.i1.10020>
- Ramdani, R., Rahmad, M., & Fakhruddin. (2020). Media Pembelajaran E-Learning Dalam Pembelajaran Pendidikan Agama Islam Di SMA Laboratorium Percontohan Upi Bandung. *TARBAWY: Indonesian Journal of Islamic Education*, 5(1), 47–59. Media pembelajaran. *Jurnal Inovasi Informatika*, 6(1), 173. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jss.2014.12.010%0Ahttp://dx.doi.org/10.1016/j.sbspro.2013.03.034%0Ahttps://www.iiste.org/Journals/index.php/JPID/article/viewFile/19288/19711%0Ahttp://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.678.6911&rep=rep1&type=pdf>
- Setyono, A. E., & Kiono, B. F. T. (2021). Dari Energi Fosil Menuju Energi Terbarukan: Potret Kondisi Minyak dan Gas Bumi Indonesia Tahun 2020 – 2050. *Jurnal Energi Baru Dan Terbarukan*, 2(3), 154–162. <https://doi.org/10.14710/jebt.2021.11157>
- Spatioti, A. G., Kazanidis, I., & Pange, J. (2022). A Comparative Study of the ADDIE Instructional Design Model in Distance Education. *Information (Switzerland)*, 13(9), 1–20. <https://doi.org/10.3390/info13090402>
- Supratman, E., & Purwaningtias, F. (2018). Pengembangan Media Pembelajaran E-Learning Berbasis Schoology. *Jurnal Informatika: Jurnal Pengembangan IT*, 3(3), 310–315. <https://doi.org/10.30591/jpit.v3i3.958>
- Wahyuni, N. P. (2021). Penerapan Pembelajaran Berbasis STEM untuk Meningkatkan Hasil Belajar IPA. *Journal of Education Action Research*, 5(1 SE-Artikel), 109–117. <https://doi.org/10.23887/jea.v5i1.31554>
- Yanti, N. E., Bahtiar, A. Z., & Yusuf, N. (2025). PENGEMBANGAN MODUL DIGITAL BERBASIS PROJECT BASED LEARNING PADA MATA KULIAH TEKNOLOGI INFORMASI. *Jurnal Education and Development*, 13(2), 110–116. <https://doi.org/10.37081/ed.v13i2.7020>
- Zulaiha, F., & Kusuma, D. (2020). Pengembangan Modul Berbasis STEM untuk Siswa SMP. *Jurnal*

Pengembangan E-Learning Berbasis...

Pendidikan Fisika Dan Teknologi, 6(2), 246–255. <https://doi.org/10.29303/jpft.v6i2.2182>