

Jurnal Biotek

p-ISSN: 2581-1827 (print), e-ISSN: 2354-9106 (online)
Website: <http://journal.uin-alauddin.ac.id/index.php/biotek/index>

Pengembangan E-Modul Berbasis PjBL-STEM untuk Meningkatkan Keterampilan Berpikir Kritis Siswa

Winda Ratna Sari^{1*}, Baskoro Adi Prayitno¹, Sarwanto¹

¹Universitas Sebelas Maret, Indonesia

*Correspondence email: windars11@student.uns.ac.id

(Submitted: 13-07-2025, Revised: 27-11-2025, Accepted: 31-12-2025)

ABSTRAK

Peningkatkan keterampilan berpikir kritis siswa kelas X SMK merupakan tujuan dari studi ini melalui pembuatan dan evaluasi terhadap E-Modul berbasis PjBL-STEM. Pada bulan April 2025, penelitian ini dilaksanakan di SMK Negeri 1 Singgahan. Siswa kelas X di SMK Negeri 1 Singgahan pada tahun ajaran 2024-2025 menjadi populasi penelitian. Siswa kelas X AKL 1 dan X AKL 2 di SMK Negeri 1 Singgahan pada tahun ajaran 2024-2025 menjadi sampel penelitian. Studi ini merupakan penelitian pengembangan yang menggunakan model R&D (Research and Development) dan desain 4-D. Dengan menggunakan angket validasi, ahli bahasa, ahli pembelajaran, ahli media, dan ahli materi sebagai instrumen validasi pengembangan e-modul. Uji validitas, reliabilitas, tingkat kesukaran, dan daya pembeda soal digunakan untuk menguji uji coba instrumen. Keefektifan bahan ajar dianalisis dengan uji Anacova dan uji korelasi Spearman. Berdasarkan penelitian pengembangan e-modul berbasis PjBL-STEM untuk meningkatkan keterampilan berpikir kritis siswa, didapatkan simpulan bahwa E-modul berbasis PjBL-STEM dianggap bermanfaat dan efisien untuk meningkatkan keterampilan berpikir kritis siswa. Penelitian selanjutnya disarankan memperluas cakupan dan fokus kajian pada peningkatan hasil belajar dan keterampilan berpikir tingkat tinggi.

Kata Kunci: e-modul, keterampilan berpikir kritis, PjBL, STEM

ABSTRACT

Improving the critical thinking skills of Grade X vocational students is the main objective of this study through the development and evaluation of PjBL-STEM-based e-modules. This research was conducted in April 2025 at SMK Negeri 1 Singgahan. The research population consisted of Grade X students at SMK Negeri 1 Singgahan in the 2024–2025 academic year, while the research sample included students from classes X AKL 1 and X AKL 2. This study employed a research and development (R&D) approach using the 4-D design model. Validation questionnaires were used as instruments, involving linguists, learning experts, media experts, and material experts to assess the e-module development. Instrument testing included analyses of validity, reliability, difficulty level, and discriminating power of the test items. The effectiveness of the teaching materials was analyzed using the ANCOVA test and the Spearman correlation test. Based on the results of the development and evaluation of the PjBL-STEM-based e-modules, it can be concluded that the e-modules are effective and efficient in enhancing students' critical thinking skills. Future research is recommended to expand the scope of the study and focus on improving learning outcomes and higher-order thinking skills.

Keywords: e-module, critical thinking skills, PjBL, STEM



Copyright©2025

How to cite: Sari, W. R., Prayitno, B. A., & Sarwanto, S. (2025). Pengembangan E-Modul Berbasis PjBL-STEM untuk Meningkatkan Keterampilan Berpikir Kritis Siswa. *Jurnal Biotek*, 13(2), 304–329. <https://doi.org/10.24252/jb.v13i2.59505>

PENDAHULUAN

Revolusi Industri 4.0 dan keterampilan abad ke-21 dengan cepat meningkat dan menjadi lebih luas, sehingga mengakibatkan penyesuaian tujuan utama dari sistem pendidikan kita yaitu mempersiapkan siswa untuk hidup di dunia (Nugroho et al., 2021). Sistem pendidikan juga harus dapat beradaptasi dengan perkembangan dalam kehidupan sehari-hari dan dunia bisnis (Çavaş et al., 2024). Oleh karena itu, setiap orang harus memiliki kualitas (seperti kreativitas, pemikiran kritis, kerja sama tim, dan keterampilan komunikasi) yang sering kali mendefinisikan abad kedua puluh satu, agar dapat berkontribusi pada masa itu (Sutarto, 2023).

Dalam pembelajaran, pendidik memiliki peran utama sebagai fasilitator agar proses belajar siswa dapat terjadi, terdapat sumber belajar yang diorganisir secara metodis, dimulai dengan pembuatan manajemen pembelajaran, materi pembelajaran, dan alat penilaian pembelajaran untuk mengukur tingkat pengetahuan dan kemahiran siswa (Patahuddin et al., 2021). Pembelajaran yang berkualitas dan efektif akan terlaksana apabila terdapat faktor pendukung pembelajaran yang memadai, seperti adanya perangkat pembelajaran yang tersusun secara sistematis mulai dari persiapan pengelolaan pembelajaran, penyiapan bahan ajar atau materi, dan alat evaluasi penilaian pembelajaran untuk mengetahui seberapa besar pengetahuan dan ketrampilan yang telah diserap oleh siswa (Hidayati et al., 2024). Guru harus mampu menggunakan teknologi informasi dan komunikasi secara terintegrasi, metodis, dan efisien sesuai dengan situasi dan kondisi, termasuk menggunakan teknologi sebagai media dan sumber belajar yang sesuai dengan tuntutan kurikulum serta kebutuhan dan karakteristik siswa (Cynthia et al., 2023). Delita & Berutu (2022) menyatakan bahwa penggunaan media dan sumber belajar berbasis teknologi mempengaruhi kualitas proses dan hasil pembelajaran.

Perkembangan teknologi yang signifikan di bidang pendidikan telah mempengaruhi gaya belajar setiap individu dan menciptakan kesulitan baru bagi para pendidik (Mora-Luis & Martin-Gutierrez, 2020). Maka, dibutuhkan penggunaan teknologi yang dapat memberikan inovasi baru dalam kegiatan belajar

mengajar. Inovasi ini dapat dilakukan dengan berbagai cara, salah satunya dengan penggunaan media pembelajaran (Astalini et al., 2022). Pertiwi et al. (2024) menyatakan bahwa untuk membantu siswa mengasah kemampuan berpikir kritis mereka, instruktur harus memilih pendekatan pembelajaran yang efektif.

Zandvakili et al. (2019) menyatakan bahwa berpikir kritis dapat meningkatkan kinerja dan meningkatkan pemahaman dalam berbagai bidang studi dan merupakan keterampilan hidup yang penting untuk sekolah. Peran sentral pemikiran kritis dalam pasar tenaga kerja, globalisasi, revolusi informasi, modernitas, serta teknologi dan koneksi telah mendorong beberapa negara untuk mereformasi kebijakan pendidikan mereka (Wilson & Defianty, 2024). Data raport Pendidikan di SMK Negeri 1 Singgahan untuk indikator bernalar kritis pada tahun 2022 menunjukkan nilai 53,91, tahun 2023 mempunyai nilai 55,75 dan tahun 2024 nilainya 54,75. Angka-angka tersebut menunjukkan bahwa keterampilan berpikir kritis siswa SMKN 1 Singgahan telah menurun sejak tahun 2024. Siswa masih kesulitan untuk menyelesaikan penilaian atau masalah yang membutuhkan analisis, evaluasi, dan kreativitas karena keterampilan berpikir tingkat tinggi mereka masih kurang. Penelitian dilaksanakan di SMK Negeri 1 Singgahan karena karakteristik SMK Negeri 1 Singgahan merepresentasikan SMK Negeri dengan implementasi Kurikulum Merdeka secara bertahap. Hal ini membuat SMK Negeri Singgahan menjadi lokasi penelitian yang tepat dalam konteks kajian pengembangan bahan ajar inovatif. Kondisi tersebut mendukung argumentasi bahwa penurunan capaian indikator bernalar kritis sejak tahun 2024 bukan akibat semata-mata faktor kebijakan kurikulum, melainkan menunjukkan adanya kebutuhan pedagogis terhadap perangkat pembelajaran yang lebih menekankan penguatan keterampilan berpikir kritis.

Ada beberapa alasan mengapa kemampuan berpikir kritis dan kreatif siswa sangat buruk, seperti: (1) kegiatan kelas yang berpusat pada guru dan mengharuskan siswa untuk berceramah, menyalin, dan mendengarkan secara pasif; (2) kurangnya dorongan bagi siswa untuk mengembangkan keterampilan berpikir mereka selama proses pembelajaran, yang menghasilkan pengetahuan teoritis tanpa aplikasi praktis, yang “membekukan” keterampilan berpikir kritis dan membuatnya sulit untuk dikembangkan; dan (3) kurangnya variasi dalam model pengajaran yang digunakan guru, yang lebih menekankan pada peningkatan ingatan siswa daripada berpikir kritis dan menerapkan konsep-konsep yang telah mereka pelajari (Nor &

Sihes, 2021; Primadoniati, 2019; Putera et al., 2022). Variasi model pembelajaran yang diharapkan untuk meningkatkan keterampilan berpikir kritis siswa adalah model yang menekankan keaktifan, kontekstualitas, dan pemecahan masalah, seperti *Project-Based Learning* terintegrasi STEM, *Guided Inquiry*, dan *Problem-Based Learning* karena model pembelajaran tersebut mendorong keterlibatan siswa dalam setiap sintaks pembelajarannya, sehingga pembelajaran tidak lagi berfokus pada hafalan, tetapi pada pengembangan penalaran tingkat tinggi (Cahyani et al., 2024; Lestari et al., 2024; Syam et al., 2024). Dengan demikian, penerapan variasi model pembelajaran ini secara empiris dan pedagogis lebih efektif dalam menumbuhkan keterampilan berpikir kritis dibandingkan pembelajaran konvensional yang berpusat pada guru. Keterampilan berpikir kritis siswa yang rendah diketahui secara signifikan dipengaruhi oleh sikap dan perilaku guru dan siswa. Guru masih sering menggunakan teknik pengajaran tradisional seperti ceramah dan pelatihan berbasis buku teks, yang lebih menekankan pada transfer pengetahuan daripada menumbuhkan kemampuan berpikir kritis siswa. Hasil penelitian Hayati & Setiawan (2022) menyebutkan bahwa baik pengaruh internal maupun eksternal berdampak pada keterampilan berpikir kritis. Sifat-sifat siswa, keterampilan membaca, dorongan belajar, keterampilan menulis, dan kebiasaan adalah contoh pengaruh internal. Cara guru melaksanakan pelajaran dan rutinitas yang mereka terapkan untuk murid-murid mereka adalah contoh faktor eksternal.

Hasil penelitian Isvida et al. (2024) menyatakan bahwa untuk membantu siswa mengatasi kesulitan belajar, guru dapat membantu siswa mengembangkan kemampuan berpikir kritis mereka dengan menggunakan model pembelajaran yang mendukung dan membimbing mereka. Pendidikan yang berpusat pada siswa dapat membantu siswa mengembangkan kemampuan berpikir kritis mereka. Ini adalah salah satu strategi untuk meningkatkan dan mencapai tujuan pembelajaran. Salah satu pola pembelajaran yang dapat diterapkan adalah integrasi pembelajaran berbasis STEM (*Science, Technology, Engineering, and Mathematics*) dengan PjBL (*Project-Based Learning*) (Fitriyah & Ramadani, 2021).

Untuk mengidentifikasi masalah, merumuskan pertanyaan penelitian, merencanakan dan melaksanakan tindakan, serta mempresentasikan temuan dan refleksi atas pembelajaran mereka, siswa yang menggunakan paradigma PjBL harus bekerja dalam kelompok atau sendiri (Yaldi & Kurniadi, 2024). Sastria et al., (2023)

juga menyatakan bahwa agar siswa dapat bekerja secara mandiri dan memberikan hasil yang bermanfaat, model pembelajaran ini melibatkan mereka dalam tugas-tugas yang membutuhkan pemikiran tingkat tinggi dan keterampilan pemecahan masalah.

STEM adalah inovasi signifikan yang selaras dengan pengembangan keterampilan abad ke-21 melalui pendekatan interdisipliner yang mengintegrasikan prinsip-prinsip sains, matematika, teknik, dan teknologi serta mengeksplorasi mata pelajaran akademis yang terkait dengan dunia nyata (Nugroho et al., 2021; Solihah et al., 2024; Wahyuni, 2021). Dibangun di atas integrasi sains, matematika, teknik, dan teknologi, STEM merupakan bidang interdisipliner yang memungkinkan siswa untuk menerapkan pengetahuan mereka dari bidang lain untuk menghasilkan produk baru (Yulaikah et al., 2022).

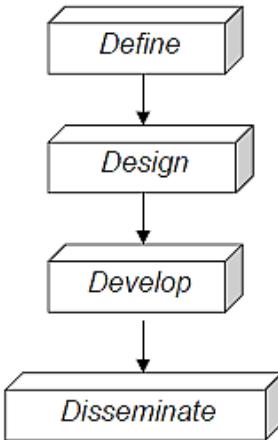
Ketersediaan sumber daya pengajaran yang tepat sangat penting untuk pembelajaran siswa; sumber daya yang sesuai dengan persyaratan kurikulum serta kebutuhan dan karakter siswa akan mendorong interaksi guru-siswa yang produktif dan membuat proses pembelajaran menjadi lebih dinamis (Cynthia et al., 2023). Dalam proses pembelajaran, aspek pemahaman konsep dan keterampilan matematis yang lain merupakan hal penting yang harus dicapai dan aspek tersebut dapat dituangkan dalam merancang bahan ajar seperti modul (Sufri & Pasaribu, 2023). Modul merupakan sumber belajar yang komprehensif yang meliputi sejumlah pengalaman belajar sistematis yang terencana dan dipersiapkan secara sistematis yang dimaksudkan untuk membantu siswa memahami tujuan pembelajaran (Hasmiati et al., 2023).

Oleh karena itu, untuk membangun modul elektronik berbasis PjBL-STEM untuk memadukan kegiatan pembelajaran berbasis PjBL-STEM, diperlukan sumber daya instruksional yang dapat memberikan pengalaman belajar yang komprehensif dan tepat bagi siswa.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilaksanakan di SMK Negeri 1 Singgahan pada bulan April 2025. Populasi dalam penelitian ini adalah siswa kelas X SMK Negeri 1 Singgahan tahun ajaran 2024/2025. Siswa kelas X AKL 1 dan X AKL 2 di SMK Negeri 1 Singgahan pada tahun ajaran 2024/2025 menjadi sampel dalam penelitian ini. Penelitian ini merupakan penelitian pengembangan yang menggunakan desain model 4-D dan

model R & D (*Research and Development*). Gambar 1 menggambarkan tahapan 4-D.



Gambar 1. Tahap Model Pengembangan 4-D

Latihan analisis dimasukkan ke dalam tahap pendefinisian untuk menentukan masalah mendasar yang dihadapi guru dan siswa. Latihan analisis masalah, analisis karakteristik siswa, analisis tugas, analisis ide, dan analisis tujuan pembelajaran termasuk dalam tahap pendefinisian. Instrumen seperti lembar observasi dan lembar wawancara digunakan selama tahap pendefinisian. Kegiatan membuat instrumen tes, memilih materi pembelajaran, memilih jenis media, memilih format, dan membuat desain awal semuanya termasuk dalam tahap *design*. Tugas awal adalah membuat instrumen tes dengan tujuan untuk menentukan apakah produk E-Modul dan alat penilaian layak digunakan.

Tujuan pembelajaran yang ingin dicapai, temuan-temuan dari pemeriksaan karakteristik siswa, hasil analisis kurikulum, dan isu-isu yang telah diselesaikan selama tahap pendefinisian, semuanya menjadi bahan pertimbangan dalam memilih bahan ajar. E-Modul merupakan media pengajaran yang dipilih karena sesuai dengan karakteristik dan masalah yang dihadapi siswa saat belajar dan memiliki konten yang sesuai dengan kebutuhan mereka. Hasil penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa alternatif media pembelajaran lain yang efektif secara pedagogis juga tersedia. Salah satu media pembelajaran yang dikembangkan yaitu *Articulate Storyline*, yang mampu meningkatkan keterlibatan dan kemampuan berpikir kritis melalui pengolahan informasi secara aktif oleh siswa, terutama dalam konteks pembelajaran matematika dan ilmu pengetahuan lainnya (Moriska & Hanif, 2024). Selain itu, *flipbook* interaktif berbasis web menunjukkan potensi sebagai

media digital lain yang dirancang untuk mendorong eksplorasi, visualisasi konsep, dan keterlibatan kognitif yang lebih tinggi, yang merupakan dimensi penting dalam berpikir kritis (Velinda et al., 2020). E-Modul dipilih untuk memodifikasi tujuan pembelajaran, konsep, tugas, dan karakteristik siswa yang menyoroti sifat-sifat PjBL-STEM dan keterampilan berpikir kritis.

Berdasarkan hasil dari tahap desain, validasi dan uji implementasi dilakukan selama tahap pengembangan. Tujuan dari validasi ahli terhadap E-Modul adalah untuk mengumpulkan umpan balik dan penilaian dari para profesional dengan keahlian yang relevan untuk meningkatkan kualitas dan kemanjuran produk sebelum diadopsi secara luas. Pada tahap ini, E-Modul yang telah dibuat oleh peneliti akan divalidasi oleh delapan orang praktisi pendidikan, termasuk dua orang ahli media, dua orang ahli materi, empat orang guru yang telah berpengalaman mengajar mata pelajaran Proyek IPAS, dan empat orang instruktur multimedia. Instrumen yang digunakan pada tahap ini adalah lembar validasi ahli. Dengan menggunakan persamaan indeks validitas isi dan analisis deskriptif kuantitatif, validitas bahan ajar IPAS Project ditentukan:

$$CVI = \left(\frac{\sum s}{n(c-1)} \right) \text{ dimana } s = r - l$$

keterangan:

r : skor responden

l : skor responden terendah

n : jumlah responden

c : kategori tertinggi

CVI : Content Validity Index

E-modul Projek IPAS Draft 1 dinyatakan layak jika memiliki CVI tinggi ($\geq 0,8$) atau sedang ($0,4 \leq CVI < 0,8$). Selain penilaian kuantitatif, para ahli juga memberikan penilaian kualitatif melalui komentar atau saran yang kemudian menjadi dasar untuk memperbaiki -modul Projek IPAS Draft 1 (Revisi 1).

Kelompok kecil orang akan menguji e-modul yang telah selesai selama tahap pengembangan untuk mengidentifikasi potensi masalah atau kesalahan. Mencari tahu bagaimana para siswa bereaksi dan menilai E-Modul proyek IPAS adalah tujuan dari uji coba kelompok kecil. Uji coba kelompok kecil ini menggunakan kuesioner untuk menilai keterbacaan E-Modul, termasuk kontennya, strategi presentasi (foto dan video yang jelas dan tidak kabur), kemudahan mengakses

tautan web dari sumbernya, dan penggunaan bahasa. Skala *Likert* dengan empat pilihan jawaban yaitu sangat setuju, setuju, tidak setuju, dan sangat tidak setuju digunakan untuk merancang kuesioner. Kemudian, dilakukan analisis deskriptif kuantitatif terhadap data yang diperoleh dengan menggunakan metode Aiken's V.

E-Modul Proyek IPAS berbasis PjBL-STEM Draft 3 digunakan dalam proses pembelajaran untuk melaksanakan tahap uji coba menengah. Uji coba menengah dilakukan untuk memastikan kepraktisan produk yang dibuat selama penelitian dan pengembangan untuk menciptakan produk akhir yang dapat digunakan secara luas di bidang pendidikan. Guru dan siswa menggunakan alat bantu berupa kuesioner yang disebut Kuesioner Kepraktisan untuk menjawab pertanyaan mengenai pengalaman mereka menggunakan E-Modul berbasis PjBL-STEM untuk mengembangkan keterampilan berpikir kritis. Data yang dihasilkan adalah data kuantitatif.

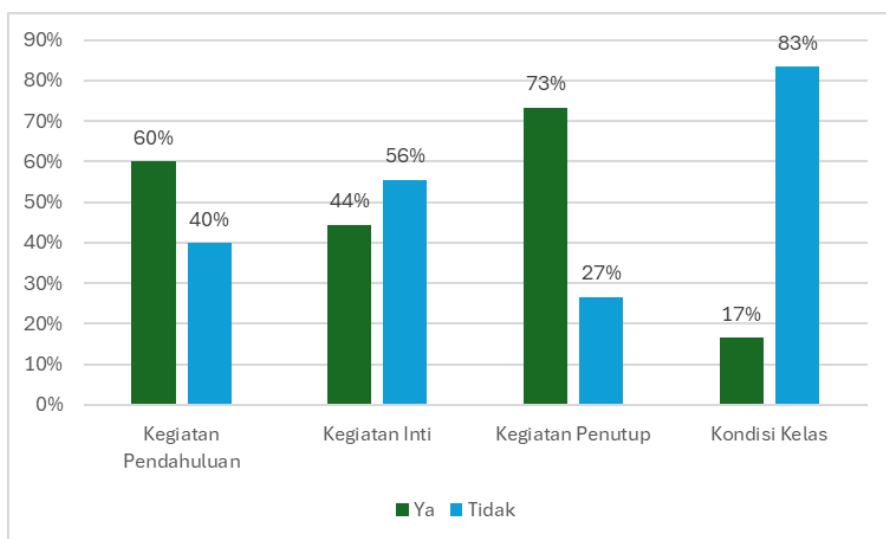
Uji coba produk, yang digabungkan dengan tahap *desiminate* pada tahap 4-D, merupakan tahap akhir dari penelitian pengembangan. Setelah mendapatkan produk jadi berupa E-Modul berbasis PjBL-STEM yang telah dinilai kepraktisannya oleh para ahli dan berdasarkan hasil uji coba lapangan antara, maka tahap ini selesai. Desain uji coba lapangan dalam penelitian ini menggunakan model kuasi eksperimen kelompok kontrol non-ekuivalen. Dua kelas digunakan dalam model ini. Pada tahap ini, kelas eksperimen menggunakan E-Modul Proyek IPAS berbasis PjBL-STEM untuk kegiatan pembelajaran, sedangkan kelas kontrol menggunakan buku pelajaran standar berbasis PjBL yang sering digunakan di kelas. Soal pilihan ganda digunakan sebagai alat penilaian keterampilan berpikir kritis baik di kelas eksperimen maupun kelas kontrol. *Pretest* dan *posttest* diberikan dengan menggunakan instrumen yang sama.

Uji coba produk, yang digabungkan dengan tahap *desiminate* pada tahap 4-D, merupakan tahap akhir dari penelitian pengembangan. Setelah mendapatkan produk jadi berupa E-Modul berbasis PjBL-STEM yang telah dinilai layak oleh para ahli dan berdasarkan hasil uji coba lapangan antara, maka selesai tahap ini. Desain uji coba lapangan penelitian ini menggunakan pendekatan kuasi-eksperimental dengan kelompok kontrol non-ekuivalen. Pendekatan kuasi eksperimental dengan kelompok kontrol non-ekuivalen menggunakan dua kelas. Kelas kontrol menggunakan buku pelajaran berbasis PjBL yang biasa digunakan di kelas, sedangkan kelas eksperimen menggunakan E-Modul Proyek IPAS berbasis

PjBL-STEM untuk kegiatan pembelajaran. Keterampilan berpikir kritis kelompok eksperimen dan kelompok kontrol dievaluasi dengan menggunakan soal pilihan ganda. Instrumen yang sama digunakan untuk *pretest* dan *posttest*.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Langkah pertama sebelum melanjutkan ke tahap berikutnya adalah tahap pendefinisian. Para peneliti menentukan masalah dan persyaratan dalam proses pembelajaran selama tahap pendefinisian. Identifikasi hasil yang diantisipasi dan pemahaman menyeluruh tentang masalah yang akan diselesaikan diprioritaskan. Masalah mendasar yang dihadapi selama proses pembelajaran di mana penelitian dilakukan diidentifikasi dan ditentukan melalui penggunaan analisis masalah. Di lapangan, analisis masalah dilakukan dengan menggunakan lembar observasi guru mata pelajaran. Gambar 5 menampilkan temuan dari observasi pertama guru mata pelajaran.

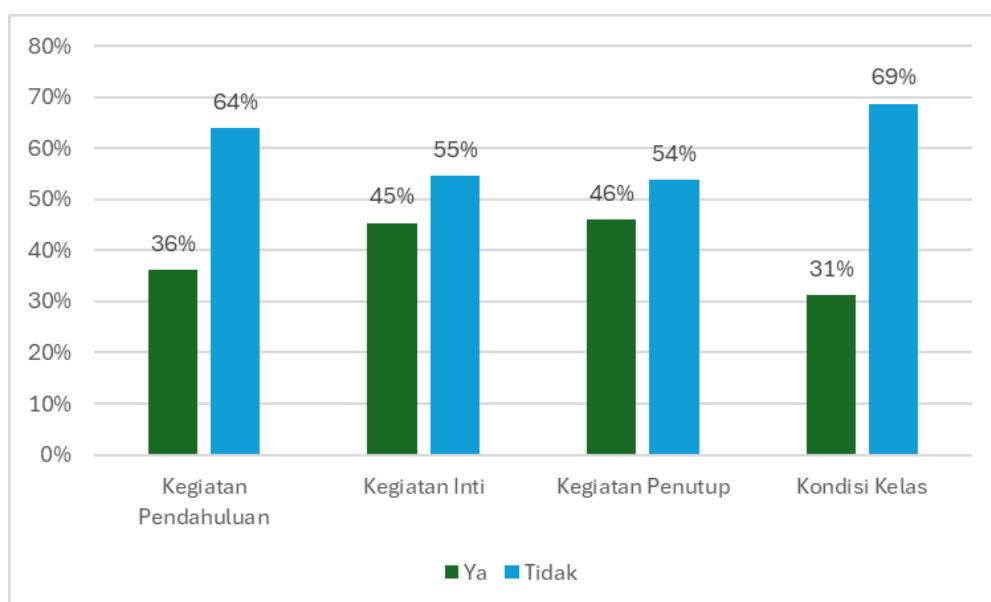


Gambar 5. Hasil Observasi Awal Guru Mata Pelajaran

Pada Gambar 5, dapat dilihat bahwa sebanyak 56% kegiatan inti pembelajaran tidak dilaksanakan. Kondisi kelas yang berisi kegiatan interaksi guru dan siswa, dan antar siswa hanya dilaksanakan sebesar 17%. Menurut temuan dari wawancara langsung dengan para ahli mata pelajaran, buku paket yang disediakan pemerintah terus menjadi sumber daya pengajaran utama yang digunakan dalam proses belajar mengajar. Guru tidak pernah menggunakan e-modul karena e-modul interaktif tidak tersedia. Infrastruktur dan fasilitas di sekolah cukup memadai untuk menggunakan dan mengimplementasikan e-modul, termasuk proyektor. Peneliti membuat e-modul interaktif sebagai alat bantu pembelajaran mata pelajaran IPAS

kelas X SMK berdasarkan data-data tersebut di atas. Proses pendidikan di sekolah dasar dan menengah perlu direvitalisasi. Pembelajaran di sekolah selama ini masih terpusat pada buku dan modul konvensional karena banyak buku pelajaran yang digunakan tidak memenuhi persyaratan pendidikan (Ly et al., 2024). Akibatnya, pendidik berperan penting dalam membantu anak-anak mengembangkan pengetahuan dan disposisi yang diperlukan untuk menggunakan teknologi secara bijaksana (Prasetyo et al., 2023).

Di lokasi penelitian, masalah mendasar yang dihadapi selama proses pembelajaran diidentifikasi dan ditetapkan melalui penggunaan analisis karakter siswa. Dengan menggunakan lembar observasi karakter siswa, analisis karakter siswa dilakukan di lapangan. Gambar 6 menunjukkan temuan dari pemeriksaan pertama terhadap karakter siswa.



Gambar 6. Hasil Observasi Awal Siswa

Hasil obeservasi awal terhadap karakter siswa, diperoleh data bahwa sebanyak 64% siswa tidak melakukan kegiatan pendahuluan, sebanyak 55% kegiatan inti tidak dilaksanakan, sebanyak 54% kegiatan penutup tidak dilaksanakan. Kondisi kelas yang berisi kegiatan interaksi guru dan siswa, dan antar siswa hanya dilaksanakan sebesar 31%. Belajar lebih dari sekadar memasukkan ide atau informasi ke dalam memori, sehingga supaya pengetahuan yang diperoleh menjadi jelas dan kecil kemungkinannya untuk dilupakan, maka perlu menghubungkan ide-ide tersebut dengan isu-isu aktual (Irdalisa et al., 2024). Hasil wawancara langsung terhadap beberapa siswa, didapatkan hasil bahwa siswa menginginkan dan

membutuhkan adanya e-Modul yang bersifat interaktif. Delita & Berutu (2022) menyatakan bahwa jika dibuat sesuai dengan profil siswa dan disajikan dengan cara yang menarik untuk mencegah kebosanan belajar, e-modul dapat berfungsi sebagai sumber belajar utama bagi siswa.

Tugas-tugas dalam e-Modul didasarkan pada tujuan pembelajaran dan output dari kurikulum mandiri IPAS *project* kelas X karena dari hasil analisis tugas diketahui bahwa SMK Negeri 1 Singgahan kelas X mengikuti kurikulum Merdeka. Siswa dapat memahami dan menerapkan pengetahuan ilmiah, melakukan penyelidikan ilmiah, menganalisis data untuk mengembangkan dan mempertahankan argumen ilmiah, serta berdasarkan hasil analisis tujuan pembelajaran, diskusikan dan pertimbangkan hasil dari pengolahan limbah tongkol jagung padat menjadi beberapa alternatif produk briket. Materi yang dipilih berupa pemanfaatan limbah padat bonggol jagung karena berdasarkan hasil observasi awal, banyak sekali bonggol jagung yang merupakan sisa dari kegiatan masyarakat di daerah sekitar SMK Negeri 1 Singgahan. Faizah et al. (2022) menyatakan bahwa untuk mengurangi jumlah limbah pertanian yang berupa batang jagung sehingga dapat dibuat briket batang jagung.

Tahap *design* berisi kegiatan pengembangan draf awal e-modul berdasarkan pada data-data yang dikumpulkan pada tahap *define*. Pada tahap perencanaan peneliti membuat langkah-langkah pembelajaran secara detail dan merancang sebuah e-modul berbasis PjBL-STEM. Desain e-modul terdiri dari bagian awal, isi, dan bagian akhir. Bagian awal dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Bagian Awal

Bagian awal berisi cover, petunjuk penggunaan, dan capaian pembelajaran. Bagian isi terdiri atas apersepsi, materi, dan proyek untuk siswa. Bagian isi dapat dilihat pada Gambar 3.

Gambar 3. Bagian Isi

Bagian penutup berisi evaluasi dan glosarium. Bagian penutup dapat dilihat pada Gambar 4.

Biodesel	: bahan bakar alternatif yang dihasilkan dari bahan alami terbarukan.
Briket	: blok bahan padat yang dapat dibakar dan digunakan sebagai bahan bakar alternatif untuk memulai dan mempertahankan nyala api.
Briket	: blok bahan padat yang dapat dibakar dan digunakan sebagai bahan bakar alternatif untuk memulai dan mempertahankan nyala api.
Delignifikasi	: proses penghilangan atau pemutusan ikatan lignin dari bahan yang mengandung lignoselulosa, seperti kayu atau limbah pertanian, untuk memisahkan lignin dari selulosa dan hemiselulosa.
Fermentasi	: proses produksi energi dalam sel secara anaerobik (tanpa oksigen) yang melibatkan perubahan biokimia senyawa organik melalui aksi enzim mikroorganisme
Heterogen	: terdiri dari berbagai unsur atau bagian yang berbeda dan tidak tercampur secara merata

Gambar 4. Bagian Penutup

Penyusunan tes dilakukan dengan mempertimbangkan capaian pembelajaran dan tujuan pembelajaran yang ingin dicapai. Terdapat 50 soal pilihan ganda dalam instrumen tes yang dibuat sebagai penilaian formatif. Untuk menilai validitas soal instrumen, akan dilakukan uji coba skala terbatas dengan menggunakan soal-soal uji coba yang telah disediakan.

Materi ajar dipilih berdasarkan capaian pembelajaran yang akan dicapai, hasil analisis karakteristik siswa, dan hasil analisis kurikulum serta permasalahan yang telah dilakukan pada tahap *define*. Pemilihan media ajar yang dipilih adalah e-modul sebagai media pembelajaran yang relevan dengan karakteristik dan permasalahan siswa selama pembelajaran dengan materi yang sesuai dengan kebutuhan siswa. E-modul dipilih untuk menyesuaikan analisis karakteristik siswa, analisis konsep, analisis tugas dan analisis tujuan pembelajaran yang menekankan karakteristik PjBL-STEM serta keterampilan berpikir kritis. Hal ini berguna untuk membantu siswa dalam peningkatan keterampilan berpikir kritis. Pemilihan format berdasarkan kebutuhan siswa pada pelaksanaan pembelajaran. Sufri & Pasaribu (2023) menyatakan bahwa karena e-modul merupakan sumber belajar yang disusun dengan bahasa yang mudah dipahami dan dapat dipelajari secara mandiri, e-modul dipilih sebagai media pembelajaran untuk meningkatkan hasil belajar pengguna dan siswa. Struktur *flip book* pada e-modul yang dihasilkan memudahkan guru dan siswa untuk mengaksesnya.

Pada tahap rancangan awal e-modul berbasis PjBL-STEM yang telah dibuat, dikonsultasikan kepada dosen pembimbing untuk mendapatkan arahan-arahan sebelum E-modul digunakan. Perbaikan dilakukan sebagai tanggapan atas saran dosen, dan desain akan dilanjutkan ke tahap validasi. Cover berisi tentang judul yang ada di bagian depan e-modul, yang menggambarkan pembelajaran berbasis PjBL-STEM pada materi Proyek IPAS di dalamnya.

Pemilihan gaya ilustrasi sangat penting untuk mengatur suasana hati dan menarik perhatian siswa. Pilihan warna yang cerah memiliki kekuatan untuk menarik minat siswa. Bagian tengah atas e-modul adalah tempat informasi berada. Menurut Somanandana et al. (2024), siswa harus menjadi fokus dari manajemen pengetahuan dan desain pembelajaran untuk memberikan kesempatan belajar di lingkungan apa pun, termasuk merencanakan kegiatan terkait sekolah lainnya.

Petunjuk penggunaan e-modul diperlukan untuk memudahkan penerapannya oleh pembaca. Untuk membantu orang menggunakan produk dengan benar, petunjuk penggunaan e-modul dapat ditemukan di bagian awal produk atau pembuka. Cynthia et al. (2023) menyatakan bahwa untuk memudahkan pengguna dalam menggunakan e-modul, petunjuk penggunaan e-modul dilengkapi dengan penjelasan fungsi tombol-tombol yang terdapat pada e-modul beserta foto tombol-tombol tersebut. Bagian isi e-modul berisi panduan kegiatan pembelajaran yang sesuai dengan sintaks model PjBL. Bagian isi dimulai dari capaian pembelajaran yang dirancang agar siswa mengetahui capaian pembelajaran yang hendak dicapai pada pembelajaran IPAS materi limbah. Pada bagian apersepsi, kegiatan siswa yaitu memperhatikan video apersepsi dan pertanyaan mendasar sebagai acuan dalam kegiatan pembelajaran dengan model PjBL-STEM.

E-modul yang berisi materi mata kuliah proyek IPAS berbasis model PjBL-STEM merupakan produk akhir dari penelitian pengembangan ini. E-modul yang didesain dengan warna-warna cerah untuk menarik perhatian siswa pada materi pembelajaran ini berisi materi tentang sampah dan pemanfaatannya. Panjaitan (2022) menyatakan bahwa warna-warna cerah dapat menarik perhatian siswa pada materi pendidikan, dan nama-nama diperpanjang agar siswa (pembaca) dapat melihat atau memahami garis besar isi ketika mereka melihat sampulnya.

Salah satu metode untuk mengonfirmasi atau mengevaluasi kelayakan desain produk yang dibuat adalah validasi ahli, yang juga dikenal sebagai evaluasi ahli. Para validator memverifikasi temuan-temuan dari draf pertama. Para ahli materi, ahli media, ahli pembelajaran, dan ahli bahasa termasuk di antara para validator penelitian ini. Hasil validasi ahli materi dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil Validasi Ahli Materi

No	Aspek	Skor Rata - Rata	Kriteria
1	Kesesuaian Materi	1	Tinggi
2	Keluasan Materi	0,778	Sedang
3	Keakuratan Materi	0,833	Tinggi
4	Kemutakhiran Materi	0,833	Tinggi
5	Integrasi PjBL-STEM	0,944	Tinggi
Skor CVI Rata - Rata		0,878	Tinggi

Hasil skor validasi materi rata-rata CVI sebesar 0,878 ditampilkan pada Tabel 1 dan termasuk dalam kategori tinggi. E-modul berbasis proyek dapat

memberikan kegiatan pembelajaran yang menarik dan dinamis, membantu pemahaman siswa terhadap materi, dan menumbuhkan keterampilan berpikir kritis dan kreatif yang diperlukan untuk memecahkan masalah lingkungan hidup di dunia nyata (Izzania et al., 2021). Rohmah et al. (2019) juga menyatakan bahwa siswa akan dapat menguasai berbagai mata pelajaran terutama mata pelajaran sains yang terkait dengan skenario dunia nyata berkat metode STEM, yang juga akan membuat pembelajaran menjadi lebih variatif dan kreatif. Hasil validasi ahli media dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Hasil Validasi Ahli Media

No	Aspek	Skor Rata - Rata	Kriteria
1	Tampilan	0,817	Tinggi
2	Pemrograman	0,889	Tinggi
3	Pemanfaatan	0,875	Tinggi
Skor CVI Rata – Rata		0,854	Tinggi

Dengan skor rata-rata CVI sebesar 0,878, Tabel 2 menunjukkan bahwa hasil validasi media berada pada kisaran tinggi. Hal ini menunjukkan bahwa kriteria pemrograman, penyajian, dan penggunaan telah dipenuhi oleh e-modul yang dihasilkan. Hal ini mendukung pernyataan yang dikemukakan oleh Sunarsih & Yuliyanti (2021) bahwa kelayakan gambar dalam bahan ajar merupakan cerminan dari substansi materi, sehingga gambar harus diberikan secara mendalam agar sesuai dengan judul dan menjaga keselarasan tata letak di berbagai bagian materi. Untuk mempermudah pembacaan, beberapa konten juga perlu diidentifikasi. Pattaufi et al. (2023) menyatakan bahwa karena pembelajaran yang sukses akan dipengaruhi oleh desain pembelajaran yang tepat, materi pembelajaran harus dapat memenuhi kriteria, meningkatkan pemahaman siswa terhadap materi pelajaran, dan membuat pembelajaran menjadi lebih menyenangkan. Desain pembelajaran yang tepat tidak hanya menyampaikan materi, tetapi juga mendorong interaksi aktif, refleksi, dan penerapan pengetahuan dalam konteks autentik, sehingga hasil belajar lebih efektif dan berkesinambungan. Hasil validasi ahli pembelajaran dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Hasil Validasi Ahli Pembelajaran

No	Aspek	Skor Rata – Rata	Kriteria
1	Materi sesuai dengan Kompetensi Inti (KI) dan Kompetensi Dasar (KD).	0,917	Tinggi
2	Informasi yang disajikan dalam modul akurat dan dapat dipercaya.	0,917	Tinggi
3	Materi relevan dengan perkembangan ilmu pengetahuan terkini.	0,833	Tinggi
4	Materi mencakup konsep yang mendalam sesuai kebutuhan siswa.	0,833	Tinggi
5	Proyek yang diberikan relevan dengan materi yang diajarkan.	0,667	Sedang
6	E-modul sesuai dengan kurikulum yang berlaku.	0,833	Tinggi
7	Materi disesuaikan dengan tingkat perkembangan siswa.	0,833	Tinggi
8	Penyajian isi modul menarik dan mudah dipahami siswa.	0,833	Tinggi
9	Modul mencerminkan integrasi pendekatan PjBL-STEM secara jelas.	0,917	Tinggi
10	Modul mendorong siswa untuk berpikir kritis dan kreatif	0,833	Tinggi
Skor CVI Rata – Rata		0,842	Tinggi

Dengan nilai rata-rata CVI sebesar 0,842, Tabel 3 menunjukkan bahwa hasil validasi ahli pembelajaran termasuk dalam kategori tinggi. Para ahli menyatakan bahwa e-modul dapat digunakan tanpa revisi. Hal ini menunjukkan bahwa e-modul telah memenuhi persyaratan untuk penilaian, metode pembelajaran, konten pembelajaran, dan evaluasi pembelajaran. PjBL merupakan pendekatan pembelajaran yang memadukan pembelajaran berbasis proyek dengan pembelajaran berbasis masalah, di mana proyek menjadi cara yang efektif untuk meningkatkan keterampilan kognitif dan psikomotorik (Rokhim et al., 2020).

Tabel 4 menampilkan temuan validasi ahli bahasa.

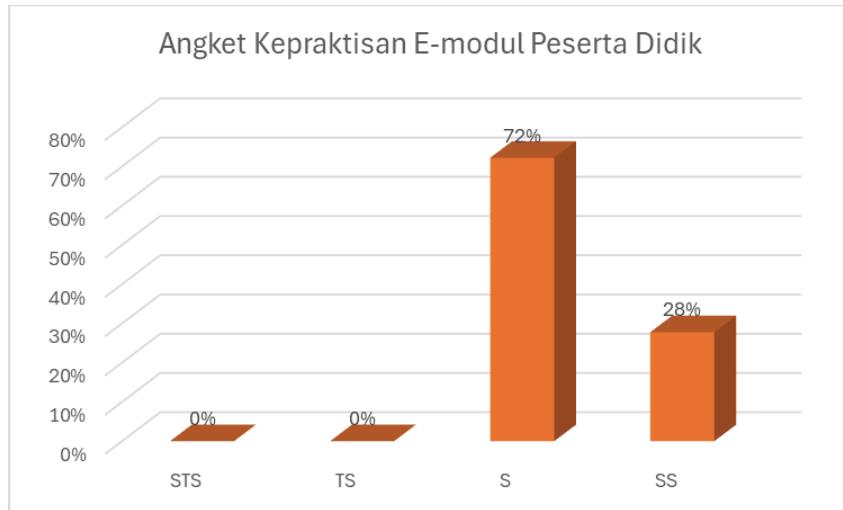
Tabel 4. Hasil Validasi Ahli Bahasa

No	Aspek	Skor Rata – Rata	Kriteria
1	Keakuratan Tata Bahasa	1	Tinggi
2	Kejelasan dan Kemudahan	0,958	Sedang
3	Istilah yang digunakan	0,917	Tinggi
4	Komunikatif dan Interaktif	0,833	Tinggi
5	Kesesuaian dengan Tingkat Perkembangan Bahasa Siswa	0,833	Tinggi
Skor CVI Rata – Rata		0,907	Tinggi

Tabel 4 menunjukkan bahwa hasil validasi media termasuk dalam kategori tinggi dengan rata-rata skor CVI sebesar 0,907. Hal ini menunjukkan bahwa materi pembelajaran yang dibuat telah memenuhi persyaratan tampilan umum, penggunaan bahasa dalam materi, dan kejelasan bahasa. Bahasa lisan yang berkembang dengan baik memberikan fondasi untuk pencapaian akademis, memprediksi keberhasilan membaca dan menulis, serta mendukung pembelajaran di seluruh kurikulum (Dobinson et al., 2024).

Dari hasil uji validasi soal instrumen ditemukan 39 soal valid dan 11 soal tidak valid. Sebelum digunakan dalam uji skala besar, kelayakan soal instrumen harus dievaluasi dengan uji reliabilitas. Dengan nilai reliabilitas sebesar 0,699, hasil uji reliabilitas program Winstep masuk dalam kategori "Baik". Berdasarkan hasil uji tingkat kesukaran instrumen evaluasi, delapan soal tergolong sukar, tiga puluh dua soal tergolong sedang, dan empat soal tergolong mudah. Hal ini menunjukkan bahwa 35 soal dari uji coba skala luas merupakan soal instrumen. Hal ini didasarkan pada pernyataan yang dibuat oleh Fatimah & Alfath (2019) bahwa ketika membuat naskah tes, lebih baik menggunakan soal-soal dengan tingkat kesulitan yang seimbang. Sebesar 25% soal sebaiknya berada pada kategori menantang, 50% pada kategori sedang, dan 25% pada kategori mudah. Hasil penilaian dari ahli bahasa, ahli media, ahli pembelajaran, dan ahli materi menunjukkan kelayakan penggunaan e-modul berbasis PjBL-STEM untuk meningkatkan kemampuan berpikir kritis siswa. Dengan nilai CVI sebesar 0,870, e-modul ini masuk dalam kategori tinggi.

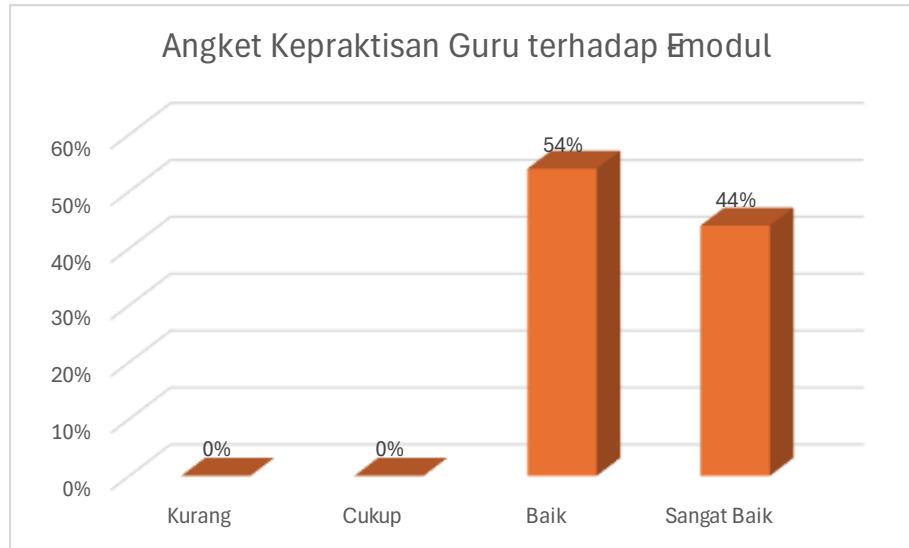
Hasil uji skala menengah terhadap siswa dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 6. Hasil Uji Skala Menengah Siswa

Berdasarkan hasil uji coba skala menengah, 28% (10 siswa) menyatakan sangat setuju dan 72% (26 siswa) menyatakan setuju. Hasil uji skala menengah menunjukkan kelayakan e-modul, yang memungkinkannya untuk digunakan dalam uji skala luas (tahap penyebaran). *E-learning* dapat menurunkan angka putus sekolah, meningkatkan hasil belajar siswa, dan mempercepat pencapaian karena *e-learning* dapat menyesuaikan pelatihan dengan kekuatan dan kebutuhan mata pelajaran masing-masing siswa. Kriteria *e-learning* yang berkualitas sehingga penting untuk dikembangkan harus mencakup komponen-komponen seperti: penetapan tujuan dan kompetensi yang jelas, materi pembelajaran yang relevan dan terstruktur, aktivitas belajar yang memfasilitasi interaksi dan keterlibatan siswa, penilaian dan umpan balik yang mendukung perkembangan kognitif, dukungan teknologi yang andal, serta aksesibilitas dan kemudahan penggunaan bagi siswa (Riski & Yogica, 2023). Oleh karena itu, untuk meningkatkan atau mempercepat pencapaian siswa, *e-learning* secara dinamis memodifikasi tingkat pendidikan sesuai dengan preferensi belajar siswa dan mempersonalisasi pelatihan (El-Sabagh, 2021). Dengan komputer atau perangkat seluler yang terhubung ke Internet, *e-learning* dapat dilakukan di rumah, di tempat kerja, atau di mana saja, sehingga siswa memiliki kendali penuh atas ritme dan kecepatan pendidikan mereka (Pham et al., 2019).

Hasil uji skala menengah terhadap guru dapat dilihat pada Gambar 7.



Gambar 7. Hasil Uji Skala Menengah Guru

Gambar 7. menunjukkan bahwa sebanyak 56% (3 guru) menyatakan setuju dan 44% (2 guru) menyatakan sangat setuju. Janson & Janke, (2024), menyatakan bahwa pengembangan dan implementasi *platform* pembelajaran dan perangkat lunak *e-learning* dimaksudkan untuk memberi manfaat bagi siswa dalam upaya mereka mencari pengetahuan serta keterampilan mereka untuk melakukan tugas-tugas pembelajaran dengan baik.

Kegiatan penggunaan e-modul berbasis PjBL-STEM dalam pembelajaran IPAS termasuk dalam tahap *disseminate*. Uji korelasi, hasil uji ancova, dan nilai rata-rata *posttest* semuanya menunjukkan betapa berhasilnya e-modul berbasis PjBL-STEM dalam meningkatkan kemampuan berpikir kritis siswa. Nilai rata – rata *pretes* – *postes* kelompok eksperimen dan kontrol dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5. Nilai *Pretes* – *Postes* Kelas Eksperimen dan Kontrol

Kelas	<i>Pretes</i>	<i>Postes</i>	Keterampilan Berpikir Kritis
Eksperimen	38,33	85,00	75,69
Kontrol	37,22	80,74	63,33

Tabel 5. menunjukkan bahwa nilai *postes* dan keterampilan berpikir kritis kelas eksperimen lebih baik daripada kelas kontrol. Hasil uji secara statistik, dapat dilihat pada Tabel 6.

Tabel 6. Hasil Uji Statistik

Uji Statistik	Signifikansi	Kriteria
Uji Normalitas	0,00	Data berdistribusi normal
Uji Homogenitas	0,92	Data bersifat homogen
Uji Ancova	0,00	Signifikan
Uji Spearman	0,00	Signifikan
Nilai Korelasi	0,543	Kuat

Nilai rata-rata kelas eksperimen dan kelas kontrol ditemukan homogen dan terdistribusi secara teratur, sesuai dengan temuan uji normalitas dan homogenitas. Uji Anacova menunjukkan adanya perbedaan yang substansial antara kemampuan berpikir kritis kelompok eksperimen dan kelompok kontrol. Hasil uji Spearman menunjukkan bahwa e-modul memiliki pengaruh yang cukup besar terhadap kemampuan berpikir kritis siswa. Penggunaan e-modul memiliki pengaruh yang tergolong kuat. Cheerapakorn et al. (2024) menyatakan bahwa Dengan memberikan kesempatan kepada para siswa untuk memecahkan masalah dan memenuhi kebutuhan masyarakat melalui proyek-proyek yang dapat dikelola dan berhasil, pembelajaran berbasis proyek menekankan pada pengembangan keterampilan yang penting untuk kehidupan abad ke-21.

Keterampilan berpikir kritis masing-masing kelas dapat diketahui berdasarkan indikator keterampilan berpikir kritis seperti pada Tabel 7.

Tabel 7. Kriteria Keterampilan Berpikir Kritis Tiap Indikator

Indikator	Kelas Eksperimen		Kelas Kontrol	
	Nilai Rata – Rata	Kriteria	Nilai Rata – Rata	Kriteria
Mengidentifikasi masalah utama yang terkait dengan topik proyek	84	Sangat Baik	65	Baik
Mengumpulkan informasi yang relevan dari berbagai sumber dan menganalisis data secara kritis.	72	Baik	63	Baik
Mengembangkan solusi yang kreatif dan relevan berdasarkan analisis yang dilakukan	70	Baik	65	Baik
Bekerjasama dengan baik dalam tim dan menyampaikan ide serta hasil proyek secara efektif.	76	Sangat Baik	59	Baik
Merefleksikan proses dan hasil proyek serta mengevaluasi keberhasilan proyek dalam mencapai tujuan.	77	Sangat Baik	65	Baik

Kelas eksperimen memiliki kinerja yang lebih baik daripada kelas kontrol dalam setiap kategori ini, seperti yang ditunjukkan oleh nilai pada Tabel 7 untuk setiap indikator keterampilan berpikir kritis. Hal ini menggambarkan seberapa baik modul elektronik berbasis PjBL-STEM dalam mengembangkan keterampilan berpikir kritis siswa. Penggunaan model PjBL, yang menuntut siswa untuk secara aktif menciptakan dan mengatur informasi, mempertimbangkan solusi alternatif, melakukan penelitian dan analisis data, dan terlibat dengan masyarakat, akan meningkatkan keterampilan berpikir kritis mereka (Irdalisa et al., 2024).

Hasil penelitian ini memiliki implikasi yang signifikan bagi dunia pendidikan, terutama dalam pengembangan bahan ajar digital yang efektif untuk meningkatkan keterampilan berpikir kritis siswa secara sistematis. Temuan empiris dari penelitian lain menunjukkan bahwa e-modul yang dirancang secara bermakna dan kontekstual, seperti yang diintegrasikan dengan pendekatan pembelajaran berbasis masalah atau STEM, tidak hanya meningkatkan skor asesmen keterampilan berpikir kritis tetapi juga meningkatkan motivasi belajar dan kesiapan siswa menghadapi tuntutan kompetensi abad ke-21, sehingga dapat menjadi alternatif pengayaan bahan ajar yang lebih adaptif dibandingkan media konvensional (Amalia et al., 2024; Sidauruk et al., 2024).

KESIMPULAN

Fitur-fitur e-modul berbasis PjBL-STEM meliputi kegiatan pembelajaran yang menggabungkan sintaks model pembelajaran PjBL dengan penjelasan yang menyeluruh yang diintegrasikan dengan pendekatan STEM pada pokok bahasan Proyek IPAS tentang pengolahan limbah, sesuai dengan penelitian pembuatan e-modul ini untuk meningkatkan keterampilan berpikir kritis siswa. Dengan validitas sebesar 0,89 dari segi isi, media, bahasa, dan pembelajaran, e-modul berbasis PjBL-STEM ini dianggap layak untuk digunakan dalam pembelajaran Proyek IPAS untuk meningkatkan kemampuan berpikir kritis siswa. Oleh karena itu, e-modul berbasis PjBL-STEM efektif dan bermanfaat dalam meningkatkan keterampilan berpikir kritis siswa.

DAFTAR PUSTAKA

- Amalia, G., Ellianawati, E., & Alimah, S. (2024). Unnes Science Education Journal Accredited Sinta 2 The Effectiveness of an E-Module Based on Socio-Scientific Issues to Improve Critical Thinking. *Unnes Science Education Journal*, 13(2), 53–60.

- Astalini, Darmaji, Kurniawan, D. A., Chen, D., Fitriani, R., Wulandari, M., Maryani, S., Simamora, N. N., & Ramadhanti, A. (2022). A Study for Student Perception of Mathematical Physics E-Module Based on Gender. *Journal of Turkish Science Education*, 19(3), 911–936. <https://doi.org/10.36681/tused.2022.156>
- Cahyani, K., Srigustini, A., & Sartika, S. H. (2024). Optimizing Students' Critical Thinking Abilities through the Guided Inquiry Learning Model. *Journal of Educational Analytics*, 3(4), 581–592. <https://doi.org/10.55927/jeda.v3i4.12158>
- Çavaş, P., Kara, A., Anagün, S. S., & Ayar, A. (2024). Examining the Mediating Role of STEM Attitudes between STEM Pedagogical Content Knowledge and STEM Intra Class Practice Self-Efficacy. *Science Education International*, 35(1), 13–20. <https://doi.org/10.33828/sei.v35.i1.2>
- Cheerapakorn, P., Hinon, K., & Wannapiroon, P. (2024). Hybrid project-based learning model on metaverse to enhance collaboration. *International Education Studies*, 17(6), 65–78. <https://doi.org/10.5539/ies.v17n6p65>
- Cynthia, Arafah, K., & Palloan, P. (2023). Development of Interactive Physics E-Module to Improve Critical Thinking Skills. *Jurnal Penelitian Pendidikan IPA*, 9(5), 3943–3952. <https://doi.org/10.29303/jppipa.v9i5.2302>
- Delita, F., & Berutu, N. (2022). Online Learning: The Effects of Using E-Modules on Self-Efficacy, Motivation and Learning Outcomes. *TOJDE: Turkish Online Journal of Distance Education*, 23(4), 93–107. <https://doi.org/10.17718/tojde.1182760>
- Dobinson, K., Mathers, S., Forrest, C., Charlton, J., & Dockrell, J. (2024). The quality of universal language supporting provision in maintained nursery classrooms in economically disadvantaged areas of England: Identifying strengths and areas for development. *Child Language Teaching and Therapy*, 40(3), 238. <https://doi.org/10.1177/02656590241252044>
- El-Sabagh, H. A. (2021). Adaptive e-learning environment based on learning styles and its impact on development students' engagement. *International Journal of Educational Technology in Higher Education*, 18(1), 1–24. <https://doi.org/10.1186/s41239-021-00289-4>
- Faizah, M., Rizky, A., Zamroni, A., & Khasan, U. (2022). Pembuatan Briket sebagai Salah Satu Upaya Pemanfaatan Limbah Pertanian Bonggol Jagung di Desa Tampingmojo. *Jumat Pertanian: Jurnal Pengabdian Masyarakat*, 3(2), 65–68. <https://doi.org/10.32764/abdimasper.v3i2.2863>
- Fatimah, U. L., & Alfath, K. (2019). Analisis kesukaran soal, daya pembeda dan fungsi distraktor. *Jurnal Komunikasi Dan Pendidikan Islam*, 8(2). <https://doi.org/10.36668/jal.v8i2.115>
- Fitriyah, A., & Ramadani, S. D. (2021). Pengaruh pembelajaran STEAM berbasis PJBL (project-based learning) terhadap keterampilan berpikir kreatif dan berpikir kritis. *Inspiratif Pendidikan*, 10(1), 209–226. <https://doi.org/10.24252/ip.v10i1.17642>
- Hasmiati, Rukmana, M., Agustina, T. P., & Watung, F. A. (2023). Pengembangan Modul Biologi Berbasis Potensi Lokal Kabupaten Enrekang pada Materi

- Plantae untuk Siswa Kelas X SMA. *Jurnal Biotek*, 11(1), 1–13. <https://doi.org/10.24252/jb.v1i1.37011>
- Hayati, N., & Setiawan, D. (2022). Dampak Rendahnya Kemampuan Berbahasa dan Bernalar terhadap Kemampuan Berpikir Kritis Siswa Sekolah Dasar. *Jurnal Basicedu*, 6(5), 8517–8528. <https://doi.org/10.31004/basicedu.v6i5.3650>
- Hidayati, K., Rahmawati, A., & Wijayanto, D. S. (2024). Effectiveness of using google sites-based learning media to improve critical and creative thinking abilities of vocational school students. *JPPI (Jurnal Penelitian Pendidikan Indonesia)*, 10(3), 632–640. <https://doi.org/10.29210/020243964>
- Irdalisa, I., Paidi, P., Panigrahi, R. R., & Hanum, E. (2024). Project-Based Learning on STEAM-Based Student's Worksheet with Ecoprint Technique: Effects on Student Scientific Reasoning and Creativity. *Jurnal Inovasi Pendidikan IPA*, 10(2), 222–236. <https://doi.org/10.21831/jipi.v10i2.77676>
- Isvida, M. G., Sunandar, A., & Rahayu, H. M. (2024). Effect of problem-based learning integrated with ethnoscience on critical thinking skills in SMA Negeri 01 Kubu. *Quagga: Jurnal Pendidikan Dan Biologi*, 16(1), 51–57. <https://doi.org/10.25134/quagga.v16i1.54>
- Izzania, R. D. S. M., Winarni, E. W., & Koto, I. (2021). Pengembangan bahan ajar berbasis PjBL terintegrasi STEAM untuk memfasilitasi kemampuan literasi sains siswa sekolah dasar. *Jurnal Pembelajaran Dan Pengajaran Pendidikan Dasar*, 4(2), 146–157. <https://doi.org/https://doi.org/10.33369/dikdas.v5i1.15914>
- Janson, M. P., & Janke, S. (2024). The influence of e-learning on exam performance and the role of achievement goals in shaping learning patterns. *International Journal of Educational Technology in Higher Education*, 21(1), 1–22. <https://doi.org/10.1186/s41239-024-00488-9>
- Lestari, H. D., Rahmawati, Y., & Usman, H. (2024). STEM-PjBL Learning Model To Enhance Critical Thinking Skills of Students on Magnets, Electricity, and Technology. *Jurnal Penelitian Pendidikan IPA*, 10(8), 6027–6037. <https://doi.org/10.29303/jppipa.v10i8.8153>
- Ly, P., Bani, M., Hariana, V., & Meok, P. (2024). Development of E-Modules for Elementary Students. *Pegem Journal of Education and Instruction*, 14(3), 300–310. <https://doi.org/10.47750/pegegog.14.03.28>
- Mora-Luis, C. E., & Martin-Gutierrez, J. (2020). The change of educational processes learning and teaching in engineering education. *Eurasia Journal of Mathematics, Science and Technology Education*, 16(3), em1828. <https://doi.org/10.29333/ejmste/116034>
- Moriska, A., & Hanif, M. (2024). Interactive Learning Multimedia Articulate Storyline as an Alternative Media to Improve Elementary Students' Critical Thinking Skills. *Jurnal Ilmiah Sekolah Dasar*, 8(2), 258–269. <https://doi.org/10.23887/jisd.v8i2.65310>
- Nor, H. M., & Sihes, A. J. (2021). Critical Thinking Skills in Education: A Systematic Literature Review. *International Journal of Academic Research in Business and Social Sciences*, 11(11), 198–201. <https://doi.org/10.6007/ijarbss/v11-i11/11529>

- Nugroho, O. F., Permanasari, A., Firman, H., & Riandi, R. (2021). The Urgency of STEM Education in Indonesia. *Jurnal Penelitian Dan Pembelajaran IPA*, 7(2), 260–279. <https://doi.org/10.30870/jppi.v7i2.5979>
- Panjaitan, Y. F. (2022). Pengembangan bahan ajar kimia berbasis project based learning pada materi larutan elektrolit dan non-elektrolit. *Educenter: Jurnal Ilmiah Pendidikan*, 1(6), 657–664. <https://doi.org/10.55904/educenter.v2i1.234>
- Patahuddin, Syawal, & Amri. (2021). Students' critical thinking ability in analyzing descriptive paragraph. *JPPI (Jurnal Penelitian Pendidikan Indonesia)*, 7(3), 462–468. <https://doi.org/10.29210/020211213>
- Pattaufi, Aswan, D., & Hakim, A. (2023). The development of teaching material for blended learning: A strategy to improve students' creativity and innovation in the 21st century. *Journal of Educational Science and Technology (EST)*, 9(1), 19. <https://doi.org/10.26858/est.v9i1.37916>
- Pertiwi, N. P., Saputro, S., Yamtinah, S., & Kamari, A. (2024). Enhancing Critical Thinking Skills Through STEM Problem-Based Contextual Learning: An Integrated E-Module Education Website with Virtual Experiments. *Journal of Baltic Science Education*, 23(4), 739–766. <https://doi.org/10.33225/jbse/24.23.739>
- Pham, L., Limbu, Y. B., Bui, T. K., Nguyen, H. T., & Pham, H. T. (2019). Does e-learning service quality influence e-learning student satisfaction and loyalty? Evidence from Vietnam. *International Journal of Educational Technology in Higher Education*, 16(7), 1–26. <https://doi.org/10.1186/s41239-019-0136-3>
- Prasetyo, W. H., Sumardjoko, B., Muhibbin, A., Naidu, N. B. M., & Muthali'in, A. (2023). Promoting Digital Citizenship among Student-Teachers: The Role of Project-Based Learning in Improving Appropriate Online Behaviors. *Participatory Educational Research*, 10(1), 389–407. <https://doi.org/10.17275/per.23.21.10.1>
- Primadoniat, A. (2019). Pengaruh Metode Pembelajaran Problem Based Learning Pengaruh Metode Pembelajaran Problem Based Learning terhadap Peningkatan Hasil Belajar PAI Di SMPN 2 Ulaweng Kabupaten Bone. *Jurnal Pendidikan Islam*, 2(2), 40–55. <https://doi.org/10.30863/aqym.v2i2.650>
- Putera, A. R., Purwanto, N. A., Mulyadi, M., & Jannah, R. (2022). Kepemimpinan Virtual sebagai Alternatif Mempertahankan Budaya Mutu Pondok Pesantren pada Masa Normalitas Baru Pandemi Covid-19. *Hayula: Indonesian Journal of Multidisciplinary Islamic Studies*, 6(1), 59–80. <https://doi.org/10.21009/hayula.006.01.04>
- Riski, S. P., & Yogica, R. (2023). Kriteria E-Learning Untuk Pembelajaran SMA/MA Berdasarkan Quality Matters Rubric (QMR) K-12. *Journal on Education*, 6(1), 7648–7661. <https://jonedu.org/index.php/joe/article/view/4082>
- Rohmah, U. N., Ansori, Y. Z., & Nahdi, D. S. (2019). Pendekatan pembelajaran stem dalam meningkatkan kemampuan literasi sains siswa sekolah dasar. *Prosiding Seminar Nasional Pendidikan*, 471–478. <https://prosiding.unma.ac.id/index.php/semnasfkip/article/view/68>

- Rokhim, D. A., Widarti, H. R., & Fajaroh, F. (2020). Pengembangan bahan belajar flipbook pada materi redoks dan elektrokimia berbasis pendekatan STEM-PjBL berbantuan video pembelajaran. *Kwangsan: Jurnal Teknologi Pendidikan*, 8(2), 234. <https://doi.org/10.31800/jtp.kw.v8n2.p234--250>
- Sastria, E., Heva Afrillia, Dinyah Rizki Yanti Zebua, & Dharma Ferry. (2023). Korelasi Keterampilan Metakognitif Terhadap Kemampuan Siswa Dalam Memecahkan Masalah dengan menggunakan Model Pembelajaran Project Based Learning (PjBL). *Jurnal Biotek*, 11(1), 28–44. <https://doi.org/10.24252/jb.v11i1.31781>
- Sidauruk, T., Delita, F., Berutu, N., Yuniaستuti, E., & Elfayetti, E. (2024). The Impact of E-Modules on Students' Critical Thinking Skills. *Sumatra Journal of Disaster*, 8(2), 26–30. <https://doi.org/10.24036/sjdgge.v8i2.625>
- Solihah, P. A., Kaniawati, I., Samsudin, A., & Riandi, R. (2024). Prototype of Greenhouse Effect for Improving Problem-Solving Skills in Science, Technology, Engineering, and Mathematics (STEM)-Education for Sustainable Development (ESD): Literature Review, Bibliometric, and Experiment. *Indonesian Journal of Science and Technology*, 9(1), 163–190. <https://doi.org/10.17509/ijost.v9i1.66773>
- Somanandana, V., Pitiporntapin, S., & Sophonpanyarasmi, P. (2024). Enhancing Pre-Service Teachers' Perspectives on Teaching and Learning Through the Development of E-Learning. *International Education Studies*, 17(3), 84–91. <https://doi.org/10.5539/ies.v17n3p84>
- Sufri, & Pasaribu, F. T. (2023). Desain elmolus (elektronik modul kalkulus) berbasis android berbantuan sigil menggunakan concept rich instruction dengan pengaplikasian live worksheet. *JPPI (Jurnal Penelitian Pendidikan Indonesia)*, 9(4), 24–33. <https://doi.org/10.29210/0202312247>
- Sunarsih, D., & Yuliyanti, N. (2021). Pengembangan bahan ajar berbasis active learning untuk meningkatkan literasi mahasiswa calon guru sekolah dasar. *Jurnal Elementaria Edukasia*, 4(2), 379–387. <https://doi.org/10.31949/jee.v4i1.3280>
- Sutarto. (2023). Strategi guru untuk meningkatkan keterampilan 4c's (kolaborasi, komunikasi, berpikir kritis dan kreatif) dalam pembelajaran pendidikan agama islam. *JPPI (Jurnal Penelitian Pendidikan Indonesia)*, 9(3), 1543–1552. <https://doi.org/10.29210/0202312187>
- Velinda, F., Kurnianti, E. M., & Hasanah, U. (2020). Analisis Kebutuhan Media Digital Flipbook Interaktif Berbasis Web untuk Meningkatkan Keterampilan Berpikir Kritis Siswa Sekolah Dasar. *Jurnal Basicedu*, 5(5), 3(2), 524–532. <https://journal.uii.ac.id/ajie/article/view/971>
- Wahyuni, N. P. (2021). Penerapan pembelajaran berbasis STEM untuk meningkatkan hasil belajar ipa. *Journal of Education Action Research*, 5(1), 109–117. <https://doi.org/10.23887/jeiar.v5i1.31554>
- Wilson, K., & Defianty, M. (2024). The critical challenge for ELT in Indonesia: Overcoming barriers in fostering critical thinking in testing-oriented countries. *TESOL in Context*, 33. <https://doi.org/10.21153/tesol2024vol33no1art2011>

- Yaldi, D., & Kurniadi, R. (2024). Model Pembelajaran Project Based Learning Berbasis Instagram melalui Pendekatan Mobile Learning dalam Membantu Mahasiswa Memahami Tugas Akhir. *Asatiza: Jurnal Pendidikan*, 5(1), 1–10. <https://doi.org/10.46963/asatiza.v5i1.1325>
- Yulaikah, I., Rahayu, S., & Parlan. (2022). Efektivitas pembelajaran STEM dengan model PjBL terhadap kreativitas dan pemahaman konsep IPA siswa sekolah dasar. *Jurnal Pendidikan: Teori, Penelitian, Dan Pengembangan*, 7(6), 223–229. <https://doi.org/10.17977/jptpp.v7i6.15275>
- Zandvakili, E., Washington, E., Gordon, E. W., Wells, C., & Mangaliso, M. (2019). Teaching Patterns of Critical Thinking: The 3CA Model—Concept Maps, Critical Thinking, Collaboration, and Assessment. *SAGE Open*, 9(4). <https://doi.org/10.1177/2158244019885142>