

Pengembangan E-Modul Interaktif Fisika Dasar Berbasis Project Based Learning untuk Meningkatkan Keterampilan Proses Sains dan keterampilan Berpikir Kritis

¹Satutik Rahayu, ¹Syahrial A, ¹Wahyudi, ¹I Wayan Gunada, ¹Jannatin 'Ardhuha, ¹Imam Mulkhair Ahmad

¹Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan, Universitas Mataram, Jl. Majapahit No. 62 Mataram, NTB, 3125 Indonesia

*Corresponding Author e-mail: satutik@unram.ac.id

Received: June 2025; Revised: July 2025; Published: August 2025

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kelayakan, kepraktisan, dan keefektifan e-modul Interaktif Fisika Dasar berbasis Project Based Learning untuk meningkatkan keterampilan Proses sains dan Keterampilan berpikir kritis. Jenis penelitian ini adalah Research and Development (R & D) dengan mengadopsi lima tahap model ADDIE (*Analyze, Design, Development, Implement, dan Evaluate*). Instrumen Keterampilan proses sains mengacu pada indikator keterampilan proses sains yaitu 1) mengamati, 2) menanya, 3) mengumpulkan informasi, 4) mengasosiasikan, dan 5) mengkomunikasikan. Sedangkan untuk indikator keterampilan berpikir kritis meliputi 1) memberikan penjelasan sederhana, 2) membangun keterampilan dasar, 3) Penarikan kesimpulan, 4) Memberikan penjelasan lebih lanjut, 5) Mengatur strategi dan taktik. Instrumen ini dikembangkan berdasarkan peninjauan dosen pengampu Mata kuliah, penilaian dosen ahli, teman sejawat dan uji coba pada mahasiswa. Tahap implement meliputi penerapan e-modul yang telah dikembangkan pada mahasiswa. Disain eksperimen yang digunakan pada tahap ini adalah pretest-posttest control group design. Tahap evaluate meliputi bentuk evaluasi yang dilakukan pada setiap tahap ADDIE. Teknik analisis data yang digunakan adalah uji N Gain, dan uji manova. Berdasarkan hasil perhitungan validitas Aiken V, diperoleh nilai rata-rata validitas e-modul interaktif model PjBl sebesar 0,98 %. Berdasarkan tabel aiken V untuk kevalidan dengan peneliti menetapkan nilai $p < 0,05$ maka dihasilkan kevalidan e-modul adalah 0,96 dalam kategori valid. Aspek yang dinilai pada uji validitas E-modul ini diantaranya adalah kesesuaian materi, keakuratan materi, kemutakhiran materi, teknik penyajian dan pendukung penyajian Validitas E-modul dilihat dari kesesuaian materi didapatkan rata-rata 0,98, keakuratan materi diperoleh 0,95 dan kemutakhiran materi 1,00 dengan kriteria valid. Hal ini karena pada E-modul telah dirancang sesuai dengan kurikulum yang meliputi kesesuaian materi dengan capaian pembelajaran mata kuliah dan tujuan pembelajaran, selain itu isi E-modul yang dikembangkan disusun sesuai dengan perkembangan mahasiswa pada tingkat Semester I serta sesuai dengan kebutuhan bahan ajar yang diperlukan oleh mahasiswa, dari segi materi E-modul merujuk pada buku-buku yang sahih dan up to date serta terpercaya selain itu bahan ajar yang dikembangkan dilengkapi contoh kontekstual dengan fakta, konsep dan prinsip materi yang jelas.

Kata Kunci: E-modul; Intearaktif; Project Based learning; Keterampilan Proses Sains, Keterampilan Berpikir Kritis

How to Cite: Rahayu, S., Syahrial A., Wahyudi., Gunada, I. W., 'Ardhuha, J., & Ahmad, I. M. (2025). Pengembangan E-Modul Interaktif Fisika Dasar Berbasis Project Based Learning untuk Meningkatkan Keterampilan Proses Sains dan keterampilan Berpikir Kritis. *Journal of Authentic Research*, 4 Special Issue, 860-869. <https://doi.org/10.36312/jar.v4iSpecial%20Issue.3430>



<https://doi.org/10.36312/jar.v4iSpecial%20Issue.3430>

Copyright© 2025 Rahayu et al.

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



PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi informasi dan komunikasi yang semakin pesat memberikan peluang untuk menciptakan media pembelajaran yang lebih interaktif dan menarik, seperti e-modul. Dalam era digital, literasi teknologi menjadi sangat penting. Pembelajaran konvensional sering kali bersifat satu arah dan kurang melibatkan siswa secara aktif. Fisika Dasar merupakan mata kuliah wajib yang ada di program studi pendidikan Fisika. Fisika Dasar merupakan mata kuliah yang berisi tentang konsep-konsep dan persamaan matematis yang dalam penyelesaiannya dapat melalui kegiatan praktikum ataupun dengan keterampilan berpikir kritis untuk pemecahan suatu masalah. Abad 21 yang merupakan abad globalisasi menuntut manusia untuk memiliki keterampilan, salah satunya keterampilan berpikir untuk dapat bertahan dan berkompetisi dalam persaingan global. Pada proses pembelajaran keterampilan berpikir kritis sangat penting. Pentingnya kemampuan berfikir kritis adalah agar pembelajaran terlaksana dengan bermakna bagi mahasiswa. Salah satu faktor yang menjadi penyebab kurangnya penguasaan konsep Fisika terhadap materi yang diajarkan adalah kurangnya keterlibatan mahasiswa saat kegiatan pembelajaran (Monika et al., 2018). Pembelajaran Fisika Dasar selama ini belum mengoptimalkan penggunaan bahan ajar (modul) sebagai media belajar mahasiswa. Mahasiswa juga kurang aktif dan kreatif dalam menyusun suatu proyek fisika yang menarik.

Kurangnya buku bacaan dan kurangnya membaca dapat mengakibatkan rendahnya hasil belajar dan keterampilan berpikir kritis mahasiswa. Kemendikbud tahun 2019 menyatakan bahwa Indeks Analisis Literasi membaca (Alibaca) Nasional hanya sebesar 37,32% atau masuk ke dalam kategori rendah. Indeks ini terdiri atas empat dimensi yaitu dimensi kecakapan, akses, alternatif, dan dimensi budaya (Solihin et al 2019). Generasi sekarang terutama mahasiswa merupakan Gen Z dimana generasi ini lebih senang mencari referensi bacaan dari perangkat digital dibandingkan dengan buku teks (Anwas et al., 2020). Memahami karakteristik mahasiswa sekarang maka perlu dikembangkan bahan ajar berupa e-modul Fisika Dasar Interaktif berbasis Project Based learning agar dapat meningkatkan keterampilan proses sains dan keterampilan berpikir kritis. E modul memiliki banyak keunggulan diantaranya adalah E-modul berbentuk aplikasi dimana untuk mengakses isi e-modul tidak memerlukan koneksi internet untuk mengunduh aplikasi dan untuk mengaksesnya kembali tidak perlu terhubung dengan koneksi internet lagi (Muzijah et al., 2020).

E-modul interaktif dapat membantu mengatasi masalah dengan menyediakan konten yang menarik dan memungkinkan interaksi langsung, sehingga dapat meningkatkan keterlibatan siswa dalam proses pembelajaran (Clark & Mayer, 2023). E-book interaktif juga dapat meningkatkan pemahaman konsep fisika, keterampilan proses sains, dan berpikir kritis (Çırakoğlu et al., 2020 dan Hadaya & Hanif, 2019). Penggunaan e-modul fisika berbasis PjBL dengan bantuan aplikasi Canva, dapat meningkatkan keterampilan berpikir kritis dan kemandirian belajar siswa (Rasyid & Wiyamto, 2024 dan Rachmayani, 2023). Penggunaan e-modul juga dapat meningkatkan dalam keterampilan analitis dan pemecahan masalah mahasiswa (Smith & Johnson, 2023) serta meningkatkan literasi digital dan mudah diakses

(Patel & Kumar, 2021). Pengembangan e-modul interaktif berbasis PjBl adalah bagian dari upaya untuk mengimplementasikan inovasi dalam metode pembelajaran. Ini sejalan dengan tuntutan abad ke-21 yang memerlukan pendekatan pembelajaran yang lebih dinamis dan adaptif terhadap perkembangan teknologi (Brown & Green, 2022).

Pengembangan e-modul interaktif fisika dasar berbasis Project Based Learning (PjBL) sangat penting untuk meningkatkan keterampilan proses sains dan berpikir kritis siswa. Dalam era digital saat ini, pendekatan pembelajaran yang inovatif dan interaktif sangat diperlukan untuk menarik minat siswa dan mendorong mereka untuk berpikir kritis serta berpartisipasi aktif dalam proses belajar. Hasil Penelitian menunjukkan bahwa pendekatan PjBL tidak hanya meningkatkan pemahaman konsep fisika, tetapi juga membantu siswa dalam mengembangkan keterampilan berpikir kritis yang diperlukan untuk menghadapi tantangan di dunia nyata (Rasyid & Wiyanto, 2024 dan Husen, 2016).

Perkembangan teknologi yang semakin pesat menuntut dosen dan mahasiswa untuk menyesuaikan diri dengan perkembangan tersebut. Pada proses pembelajaran adanya bahan ajar berupa modul ajar sangat membantu mahasiswa untuk memahami konsep. Teknologi memegang peran penting, sementara tantangan pengembangan media, bahan ajar dan metode pembelajaran yang efektif semakin mendesak. Penelitian ini mengusulkan pemanfaatan teknologi dalam merancang e-book interaktif dalam pembelajaran fisika berbasis Project Based learning untuk meningkatkan keterampilan proses sains, dan keterampilan berpikir kritis.

Keunggulan penelitian ini dibandingkan dengan penelitian sebelumnya Dian Indah Milasari dkk (2024) dengan judul Pengembangan Modul Fisika Berbasis PjBl untuk meningkatkan Keterampilan berpikir Kritis (Milasari et al., 2024). Banyak penelitian tentang e-modul tetapi tidak interaktif. Banyak keunggulan dari e-modul interaktif, diantaranya Pertama : Penggunaan e-modul yang interaktif memungkinkan pembelajaran yang lebih menarik dan disesuaikan dengan gaya belajar individu mahasiswa. Elemen interaktif seperti simulasi, video, dan kuis dapat meningkatkan pemahaman konsep dan keterampilan berpikir kritis. Kedua : Penerapan PjBL mendorong mahasiswa untuk aktif terlibat dalam proses pembelajaran dengan menyelesaikan proyek nyata. Hal ini tidak hanya meningkatkan pemahaman konsep, tetapi juga mengembangkan keterampilan proses sains dan keterampilan berpikir kritis. Kebaruan dari penelitian ini adalah dengan mengombinasikan model PjBl kedalam e-modul pembelajaran Interaktif yang didalamnya terdapat kuis interaktif, video teknik pembuatan project mahasiswa dapat dengan mudah mempelajarinya.

METODE

Penelitian ini merupakan penelitian pengembangan (Research and Development) yang menggunakan model pengembangan yang digunakan adalah model pengembangan ADDIE. Model ADDIE dikembangkan oleh Dick and Carry (1996) untuk merancang sistem pembelajaran. ADDIE merupakan singkatan dari Analyze, Design, Develop, Implement and

Evalutie (Ragan & Smith, 1999). Penelitian ini dibatasi pada tahap pengembangan. Produk yang dikembangkan adalah e-modul Interaktif Fisika Dasar berbasis Project based learning. Pengembangan produk ini berdasarkan tahap konsep media, tahap sistem pembangunan media, dan visualisasi. Selain itu, pengembangan produk awal terdiri dari RPS dan instrumen penilaian yang digunakan dalam keperluan penelitian. Instrumen penilaian yang dikembangkan adalah penilaian Keterampilan proses sains dan kemampuan berpikir kritis dan literasi sains. Tahap ini menghasilkan produk dan instrumen yang selanjutnya akan divalidasi oleh ahli.

Produk e-modul IPA berbasis problem based learning yang dikembangkan selanjutnya diuji kelayakannya dengan validitas isi oleh ahli media, ahli materi, praktisi dan teman sejawat. Tujuan validasi ini adalah untuk mengukur apakah produk yang dikembangkan sudah layak dan sesuai dengan kemampuan yang diukur. Hasil validasi isi dari beberapa ahli berupa komentar dan saran akan menandai valid dan tidaknya produk yang dikembangkan. Produk e-modul IPA berbasis project based learning kemudian direvisi sesuai dengan saran para validator. Selain itu instrumen yang telah disusun baik instrumen kemampuan berpikir kritis dan literasi sains dalam bentuk uraian di validasi oleh ahli dan direvisi sesuai komentar dan saran.

Tahap implementasi dilakukan uji coba skala besar atau penerapan produk yang telah dikembangkan yaitu e-modul dalam kegiatan pembelajaran Fisika Dasar semester I. Pada tahap ini juga akan diimplementasikan pada 2 kelas yang menjadi tempat penelitian. Kegiatan pembelajaran dilakukan sesuai dengan RPS yang telah dikembangkan. Implementasi ini dilakukan untuk mengetahui keefektifan e-modul interaktif dalam meningkatkan keterampilan proses sains dan keterampilan berpikir kritis Hasil Implementasi ini akan dianalisis keefektifannya dalam meningkatkan keterampilan proses sains dan keterampilan berpikir kritis mahasiswa.

Jenis data yang diperoleh pada penelitian ini adalah data kuantitatif dan data kualitatif. Data kuantitatif berupa nilai dari hasil validasi ahli, angket respon peserta didik, angket respon guru/pengguna, dan dari nilai hasil tes evaluasi menggunakan keterampilan proses sains, dan Keterampilan Berpikir Kritis (Ardyan et al., 2023). Data kualitatif berupa saran, kritik, dan tanggapan dari validator, peserta didik, dan guru di sekolah (Salsabila et al., 2023). Saran, kritik, dan tanggapan dari validator digunakan sebagai pertimbangan dalam melakukan revisi terhadap e-modul interaktif yang telah dikembangkan.

Hasil validasi ahli dihitung menggunakan persamaan Indeks Kesepakatan Validator (Riduwan, 2013). Reliabilitas pada penelitian ini dianalisis menggunakan Pengujian reliabilitas multimedia e-modul pada materi Gerak dan gaya menggunakan *Intraclass Correlation Coefficients* (ICC). Rumus untuk menghitung interrater reliability menggunakan ICC yaitu sebagai berikut (Koo & Li, 2016).

HASIL DAN PEMBAHASAN

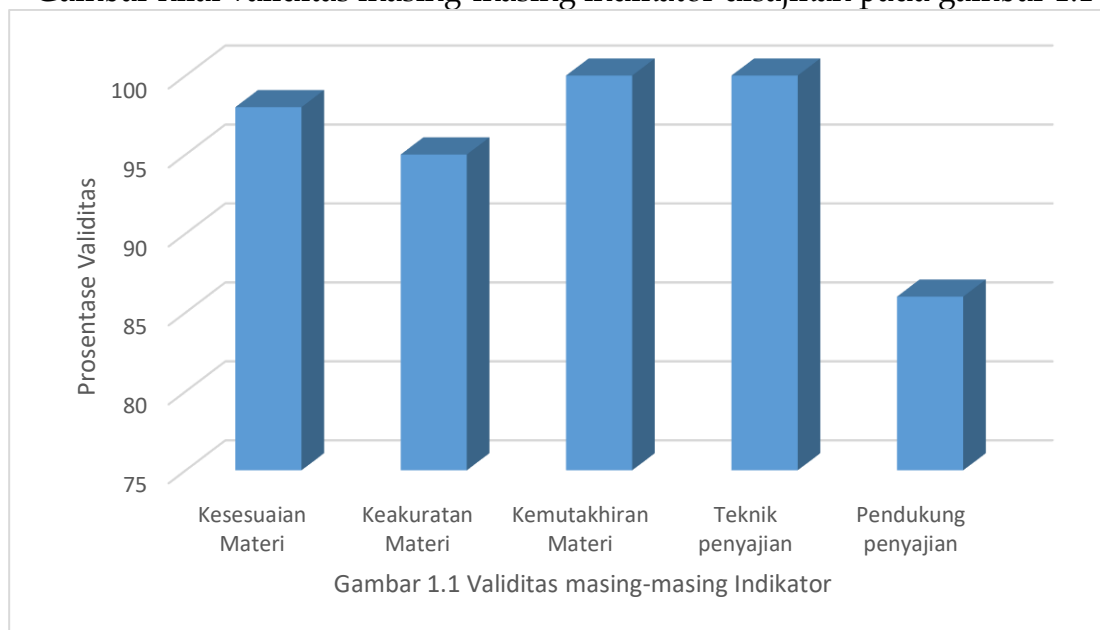
Hasil penelitian pengembangan E-modul interaktif berbasis PjBl yang telah dilakukan penilaian validasi oleh 4 validator yaitu 3 ahli Materi dan 1 ahli Desain

Media Pembelajaran. Hasil Validasi dengan menggunakan Aiken_V dapat dilihat pada tabel 1.

Tabel 1. Hasil Validasi E-Modul oleh Dosen

No	Aspek	Nilai Validitas	Kriteria
1	Kesesuaian Materi	0,98	Valid
2	Keakuratan Materi	0,95	Valid
3	Kemutakhiran Materi	1,00	Valid
4	Teknik Penyajian	1,00	Valid
5	Pendukung penyajian	0,86	Valid
Rata-Rata		0,96	Valid

Gambar nilai validitas masing-masing indikator disajikan pada gambar 1.1



Berdasarkan hasil perhitungan validitas Aiken V, diperoleh nilai rata-rata validitas e-modul interaktif model PjBl sebesar 0,98 %. Berdasarkan tabel aiken V untuk kevalidan dengan peneliti menetapkan nilai $p < 0,05$ maka dihasilkan kevalidan e-modul adalah 0,96 dalam kategori valid. Aspek yang dinilai pada uji validitas E-modul ini diantaranya adalah kesesuaian materi, keakuratan materi, kemutakhiran materi, teknik penyajian dan pendukung penyajian. Validitas E-modul dilihat dari kesesuaian materi didapatkan rata-rata 0,98, keakuratan materi diperoleh 0,95 dan kemutakhiran materi 1,00 dengan kriteria valid. Hal ini karena pada E-modul telah dirancang sesuai dengan kurikulum yang meliputi kesesuaian materi dengan capaian pembelajaran mata kuliah dan tujuan pembelajaran, selain itu isi E-modul yang dikembangkan disusun sesuai dengan perkembangan mahasiswa pada tingkat Semester I serta sesuai dengan kebutuhan bahan ajar yang diperlukan oleh mahasiswa, dari segi materi E-modul merujuk pada buku-buku yang sah dan up to date serta terpercaya selain itu bahan ajar yang dikembangkan dilengkapi contoh kontekstual dengan fakta, konsep dan prinsip materi yang jelas. Bahan ajar dan penyusunan

materi yang sistematis mudah untuk menyerap sebuah informasi sangat diperlukan (Nuryasana & Desiningrum, 2020).

Berdasarkan Teknik penyajian diperoleh nilai validitas sebesar 1,00 yang berarti valid. Kosasih, 2021 menyatakan bahwa dalam penyajian materi dalam e-modul harus membangkitkan minat dan motivasi peserta didik untuk mempelajarinya. Oleh karena itu, di dalam penyajiannya e-modul perlu disertai dengan ilustrasi contoh yang kontekstual, mudah dipahami, dan mendorong mahasiswa untuk aktif dalam proses pembelajaran menggunakan proyek. Materi perkuliahan harus disusun secara sistematis yang jelas dan variatif, yakni dari yang mudah ke yang sukar, dan dari yang konkret ke yang abstrak.

Validitas E-modul berbasis Project Based Learning berdasarkan komponen pendukung penyajian diperoleh rata-rata 0,86 hasilnya yaitu dengan kriteria valid, hal ini dikarenakan materi yang dimuat pada E-modul lengkap, memiliki alur tujuan pembelajaran yang jelas dan sesuai dengan tujuan pembelajaran, dan juga terdapat soal evaluasi yang dapat digunakan sebagai latihan untuk menilai pemahaman mahasiswa. Selain itu, gambar dan petunjuk pembuatan proyek yang terdapat di dalam E-modul sesuai dengan materi yang disajikan sehingga mahasiswa dapat belajar mandiri menggunakan e-modul.

Untuk Tingkat reliabilitas diperoleh data sebagai berikut

Reliability Statistics

Cronbach's Alpha	N of Items
,797	4

Sedangkan untuk nilai ICC diperoleh

Intraclass Correlation Coefficient

	Intraclass Correlation ^b	95% Confidence Interval		F Test with True Value 0			
		Lower Bound	Upper Bound	Value	df1	df2	Sig
Single Measures	,495 ^a	,260	,730	4,927	17	51	,000
Average Measures	,797	,584	,916	4,927	17	51	,000

Two-way random effects model where both people effects and measures effects are random.

a. The estimator is the same, whether the interaction effect is present or not.

b. Type C intraclass correlation coefficients using a consistency definition. The between-measure variance is excluded from the denominator variance.

Nilai ICC rata-rata sebesar 0,797 menunjukkan bahwa E-Modul interaktif berbasis PjBL memiliki tingkat konsistensi penilaian yang tinggi di antara para validator. Hal ini mengindikasikan bahwa elemen-elemen dalam e-modul seperti kesesuaian materi, keakuratan materi, dan teknik penyajian telah diinterpretasikan secara seragam oleh para ahli. Hasil ini mendukung pandangan Ghazali (2016) bahwa ICC > 0.70 menunjukkan reliabilitas tinggi, dan instrumen layak digunakan dalam pengujian lapangan. E-Modul Interaktif berbasis PjBL juga mengadopsi

prinsip visualisasi interaktif dan akses digital, memiliki potensi tinggi dalam meningkatkan pemahaman dan motivasi belajar.

Berdasarkan hasil penelitian pengembangan e-modul interaktif fisika dasar berbasis Project Based Learning (PjBL), dapat dibahas bahwa produk yang dihasilkan telah memenuhi kriteria kevalidan dan reliabilitas yang sangat tinggi. Nilai rata-rata validitas Aiken V sebesar 0,96 dengan semua aspek (kesesuaian, keakuratan, kemutakhiran materi, teknik penyajian, dan pendukung penyajian) berada dalam kategori valid menunjukkan bahwa e-modul ini tidak hanya layak dari segi konten tetapi juga dari segi desain pembelajaran. Tingginya nilai validitas, khususnya pada aspek kemutakhiran materi (1,00) dan teknik penyajian (1,00), mengindikasikan bahwa e-modul dirancang sesuai dengan tuntutan kurikulum dan perkembangan kognitif mahasiswa semester I, yang sejalan dengan teori perkembangan kognitif Piaget yang menekankan pentingnya materi yang sesuai dengan tingkat perkembangan intelektual peserta didik. Selain itu, keakuratan materi yang merujuk pada sumber sahih dan up-to-date memperkuat dasar konstruktivisme Vygotsky, dimana bahan ajar harus menyediakan sumber pengetahuan yang terpercaya agar dapat diinternalisasi melalui interaksi sosial dan pengalaman belajar.

Dari segi reliabilitas, nilai ICC sebesar 0,797 dan Cronbach's Alpha yang mendekati 0,80 menunjukkan bahwa instrumen penilaian dan e-modul memiliki konsistensi yang tinggi di antara para validator. Hal ini sesuai dengan pandangan Ghozali (2016) yang menyatakan bahwa nilai ICC di atas 0,70 menandakan reliabilitas yang baik, sehingga e-modul dapat diandalkan untuk digunakan dalam setting pembelajaran yang lebih luas. Reliabilitas yang tinggi ini juga mencerminkan bahwa elemen-elemen interaktif dalam e-modul, seperti simulasi, kuis, dan petunjuk proyek, telah dirancang dengan standar yang konsisten, yang sejalan dengan prinsip-prinsip desain multimedia learning Mayer (2009). Menurut Mayer, kombinasi teks dan visual yang koheren serta interaktivitas yang well-designed dapat mengurangi beban kognitif dan memfasilitasi pemrosesan informasi yang lebih mendalam.

Keberhasilan e-modul dalam meningkatkan keterampilan proses sains dan berpikir kritis dapat dikaitkan dengan integrasi model PjBL yang mendorong pembelajaran aktif dan kolaboratif. Melalui tahapan PjBL (seperti mengamati, menanya, mengumpulkan informasi, mengasosiasikan, dan mengkomunikasikan), mahasiswa tidak hanya passively menerima informasi tetapi actively terlibat dalam proses inquiry, yang sesuai dengan teori pembelajaran experiential John Dewey yang menekankan belajar melalui pengalaman langsung. Selain itu, keterampilan berpikir kritis yang diukur melalui indikator seperti penarikan kesimpulan dan pemberian penjelasan lebih lanjut sejalan dengan framework berpikir kritis Facione (1990) yang meliputi analisis, evaluasi, dan inferensi. E-modul ini berfungsi sebagai scaffold yang memandu mahasiswa melalui proses tersebut, sehingga mengembangkan kemampuan metakognitif dan self-regulation yang crucial untuk berpikir kritis.

Kelebihan lain dari e-modul ini adalah kemampuannya untuk menyajikan contoh kontekstual dan proyek nyata, yang tidak hanya meningkatkan pemahaman konseptual tetapi juga mengaitkan pembelajaran dengan aplikasi dunia riil. Hal ini sejalan dengan teori Brown dan Green (2022) yang menyatakan bahwa pendekatan

pembelajaran digital yang dinamis dan adaptif dapat memenuhi tuntutan abad 21. Selain itu, fitur interaktif seperti video tutorial dan simulasi memungkinkan mahasiswa untuk belajar secara mandiri dan self-paced, yang meningkatkan kemandirian belajar – sebuah aspek yang juga dihighlight oleh Rasyid dan Wiyamto (2024) dalam penelitian mereka.

KESIMPULAN

E-modul interaktif fisika dasar berbasis Project Based Learning (PjBL) yang dikembangkan dinyatakan sangat valid dan reliabel untuk digunakan dalam proses pembelajaran. Nilai validitas isi yang tinggi (rata-rata Aiken's $V = 0,96$) pada semua aspek, termasuk kesesuaian, keakuratan, kemutakhiran materi, teknik penyajian, dan kelayakan desain, membuktikan bahwa e-modul ini tidak hanya memenuhi standar kelayakan akademik tetapi juga dirancang sesuai dengan kurikulum dan karakteristik mahasiswa. Tingkat reliabilitas yang baik ($ICC = 0,797$) 进一步 memperkuat ke konsistenan dan keandalan e-modul sebagai sebuah instrumen pembelajaran. Secara teoritis, keunggulan produk ini terletak pada integrasi yang sinergis antara prinsip-prinsip multimedia learning Mayer, pendekatan konstruktivisme Vygotsky, dan model pembelajaran berbasis proyek (PjBL) yang mendorong keterlibatan aktif mahasiswa. Melalui serangkaian tahapan proyek yang autentik dan fitur interaktif di dalamnya, e-modul ini secara efektif menciptakan lingkungan belajar yang memfasilitasi pengembangan kedua keterampilan target, yaitu keterampilan proses sains (melalui observasi, eksperimen, dan analisis data) dan keterampilan berpikir kritis (melalui kegiatan menalar, memecahkan masalah, dan mengevaluasi hasil). Oleh karena itu, e-modul ini layak dan potensial untuk diimplementasikan secara luas sebagai media pembelajaran inovatif guna menjawab tantangan pendidikan di abad 21.

REKOMENDASI

Berdasarkan temuan penelitian yang mengonfirmasi kevalidan dan keandalan e-modul interaktif fisika dasar berbasis Project Based Learning (PjBL), maka dapat direkomendasikan beberapa hal kepada para pemangku kepentingan. Pertama, bagi dosen dan praktisi pendidikan, e-modul ini hendaknya tidak hanya diadopsi sebagai suplemen tambahan, tetapi diintegrasikan secara struktural dalam desain perkuliahan untuk menciptakan lingkungan belajar yang berpusat pada mahasiswa (student-centered). Implementasinya perlu disertai dengan pelatihan pedagogik bagi dosen agar dapat berperan efektif sebagai fasilitator yang membimbing mahasiswa dalam mengeksplorasi proyek, merumuskan masalah, dan mengembangkan keterampilan berpikir kritis, sekaligus mengoptimalkan fitur-fitur interaktif yang tersedia. Kedua, bagi pengembang media dan peneliti lanjutan, model pengembangan ini dapat diadaptasi untuk mata kuliah sains lainnya dengan karakteristik serupa, sementara penelitian mendatang perlu menguji keefektifan e-modul secara empiris melalui desain eksperimen yang ketat serta mengeksplorasi integrasi teknologi yang lebih maju seperti simulasi

berbasis artificial intelligence atau augmented reality untuk visualisasi konsep-konsep abstrak. Ketiga, bagi lembaga pendidikan, dukungan kebijakan dan infrastruktur menjadi prasyarat penting; universitas perlu menyediakan akses internet yang stabil, platform digital yang memadai, serta ruang belajar fleksibel yang memungkinkan kolaborasi dalam pengerjaan proyek.

REFERENSI

- Anwas, O. M., Uchrowi, Z., Afriansyah, A., & Iftitah, K. N. (2020). Panduan pengembangan buku teks Sekolah Dasar kelas rendah.[4] Muzijah, R., Wati, M. and Mahtari, S. (2020) . Pengembangan E-modul Menggunakan Aplikasi Exe-Learning untuk Melatih Literasi Sains', *Jurnal Ilmiah Pendidikan Fisika*, 4(2), p. 89
- Ardyan, E., Boari, Y., Akhmad, A., Yuliyani, L., Hildawati, H., Suarni, A., ... & Judijanto, L. (2023). Metode penelitian kualitatif dan kuantitatif: Pendekatan metode kualitatif dan kuantitatif di berbagai bidang. PT. Sonpedia Publishing Indonesia.
- Brown, L., & Green, T. (2022). "Digital Interactive Modules in Mathematics Education: A Meta-Analysis." *International Journal of Mathematics Education*.
- Çırakoğlu, N., Toksoy, S. E., & Reisoğlu, İ. (2022). Designing, developing, and evaluating an interactive e-book based on the predict-observe-explain (POE) method. *Journal of Formative Design in Learning*, 6(2), 95-112.
- Clark, R. C., & Mayer, R. E. (2023). *E-learning and the science of instruction: Proven guidelines for consumers and designers of multimedia learning*. John Wiley & sons.
- Hadaya, A., & Hanif, M. (2019). The Impact of Using the Interactive E-Book on Students' Learning Outcomes. *International journal of instruction*, 12(2), 709-722.
- Husen, A. (2016). Peningkatan Keterampilan Proses Sains dan berpikir kritis Mahasiswa dengan metode Demonstrasi Melalui Implementasi lesson Study. *Jurnal Pendidikan Kimia, Universitas Papua*
- Koo, T. K., & Li, M. Y. (2016). A guideline of selecting and reporting intraclass correlation coefficients for reliability research. *Journal of chiropractic medicine*, 15(2), 155-163.
- Kosasih, E. (2021). Pengembangan bahan ajar. Bumi Aksara.
- Milasari, D. I., Sulistiyono, S., & Yolanda, Y. (2024). PENGEMBANGAN MODUL FISIKA BERBASIS PROJECT BASED LEARNING (PjBL) UNTUK MENINGKATKAN KETERAMPILAN BERPIKIR KRITIS SISWA KELAS VII SMP NEGERI 2 SALING TAHUN PELAJARAN 2023/2024. *Pascal: Journal of Physics and Science Learning*, 8(1), 11-19.
- Monika, Y., Mayub, A., & Purwanto, A. (2018). Pengaruh Project Based Learning (PjBL) Model Terhadap Penguasaan Konsep Fisika Pada Siswa Kelas X SMA Negeri 1 Kota Bengkulu. *Jurnal Kumparan Fisika*, 1(2), 25-30.

- Nuryasana, E., & Desiningrum, N. (2020). Pengembangan bahan ajar strategi belajar mengajar untuk meningkatkan motivasi belajar mahasiswa. *Jurnal Inovasi Penelitian*, 1(5), 967-974.
- Patel, R., & Kumar, S. (2021). "Enhancing Digital Literacy through Interactive E-Modules in Higher Education." *Journal of Digital Literacy*.
- Rachmayani, A. (2023). The Effectiveness of E-Module in Improving Critical Thinking Skills of High School Students in Learning Physics. *Jurnal Penelitian Pendidikan IPA*, 9(11), 10287-10292.
- Ragan, T. J., & Smith, P. L. (1999). *Instructional design*. New York: Macmillan Publishing Company.
- Rasyid, A., & Wiyatmo, Y. (2024). Pengembangan e-modul fisika berbasis PBL berbantuan aplikasi Canva untuk meningkatkan keterampilan berpikir kritis dan kemandirian belajar peserta didik SMA. *Jurnal Pendidikan Fisika*, 11(1), 36-55.
- Riduwan, R. (2013). *Skala Pengukuran Variabel-Variabel Penelitian*. Bandung: Alfabeta.
- Salsabila, A. H., Iriani, T., & Sri Handoyo, S. (2023). Penerapan model 4D dalam pengembangan video pembelajaran pada keterampilan mengelola kelas. *Jurnal Pendidikan West Science*, 1(08), 495-505.
- Smith, J., & Johnson, A. (2023). "The Impact of Interactive E-Modules on Students' Learning Outcomes in Science Education." *Journal of Educational Technology*
- Solihin, L., Utama, B., Pratiwi, I., & Novirina, N. (2019). Indeks aktivitas literasi membaca 34 provinsi.