

PENGEMBANGAN BAHAN AJAR FISIKA BERBASIS STEAM-DIGITAL DAN ETNOSAINS UNTUK PENGUATAN KESIAPAN BELAJAR MAHASISWA

Elia Putri¹, Rita Destini², Lisa Septia Dewi Br.Ginting³

¹Pendidikan Fisika, ²Pendidikan Fisika, ³Pendidikan Bahasa dan Sastra Indonesia

¹eliaputri@umnaw.ac.id, ²ritadestini@umnaw.ac.id, ³lisaseptiadewi@umnaw.ac.id

Abstrak

Penelitian ini dilatarbelakangi oleh rendahnya kesiapan belajar mahasiswa Pendidikan Fisika akibat dominasi bahan ajar tekstual yang minim integrasi digital dan kontekstualisasi kearifan lokal. Tujuan penelitian ini adalah mengembangkan dan menguji efektivitas Model Bahan Ajar Fisika berbasis STEAM-Digital bermuatan kearifan lokal Sumatera Utara untuk meningkatkan kesiapan belajar mahasiswa yang mencakup aspek motivasi, self-efficacy, dan keterlibatan akademik. Penelitian menggunakan pendekatan Research and Development (R&D) dengan tujuh tahapan sistematis, yaitu analisis kebutuhan, perancangan prototipe, validasi ahli, uji terbatas, uji lapangan, revisi finalisasi, dan diseminasi. Uji efektivitas dilaksanakan menggunakan desain pretest-posttest one-group pada 28 mahasiswa semester 4 Program Studi Pendidikan Fisika UMN Al-Washliyah Medan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa prototipe bahan ajar STEAM-Digital yang mengintegrasikan konten transdisipliner, modul digital berbasis LMS dan QR code, serta narasi etnosains Batak, Melayu Deli, dan Mandailing terbukti valid (skor 3,45), praktis (3,42), dan efektif dalam meningkatkan kesiapan belajar mahasiswa dengan nilai Normalized Gain (N-Gain) sebesar 0,49 (kategori sedang) serta signifikansi statistik $p < 0,05$. Kesimpulan penelitian menegaskan bahwa integrasi simultan antara pendekatan STEAM, teknologi digital interaktif, dan kearifan lokal mampu menjembatani konsep Fisika yang abstrak menjadi pengalaman belajar yang bermakna (meaningful learning). Produk yang telah mencapai Tingkat Kesiapterapan Teknologi (TKT) level 6–7 ini siap dihilirisasi dan berkontribusi strategis pada pencapaian SDGs 4, 9, dan 11 melalui inovasi pembelajaran yang inklusif, adaptif, dan berakar pada identitas budaya lokal.

Kata kunci: STEAM-Digital; Kearifan Lokal; Kesiapan Belajar; Pendidikan Fisika; Etnosains

Abstract

This study is motivated by the low learning readiness of Physics Education students due to the dominance of textual teaching materials that lack digital integration and contextualization of local wisdom. This study aims to develop and test the effectiveness of a STEAM-Digital-based Physics Teaching Material Model infused with the local wisdom of North Sumatra to improve students' learning readiness, encompassing motivation, self-efficacy, and academic engagement. The research employed a Research and Development (R&D) approach with seven systematic stages: needs analysis, prototype design, expert validation, small group testing, field testing, final revision, and dissemination. The effectiveness test was conducted using a one-group pretest-posttest design involving 28 fourth-semester students of the Physics Education Study Program at UMN Al-Washliyah Medan. The results showed that the STEAM-Digital teaching material prototype, which integrates transdisciplinary content, digital modules based on LMS and QR codes, and ethnoscience narratives of Batak, Malay Deli, and Mandailing cultures, was proven valid (score 3.45), practical (3.42), and effective in enhancing students' learning readiness with a Normalized Gain (N-Gain) of 0.49 (moderate category) and statistical significance of $p < 0.05$. The study concludes that the simultaneous integration of the STEAM approach, interactive digital technology, and local wisdom can bridge abstract Physics concepts into meaningful learning experiences. The product, which has reached Technology Readiness Level (TKT) 6–7, is ready for downstreaming and strategically contributes to the achievement of SDGs 4, 9, and 11 through inclusive, adaptive, and culturally rooted educational innovation.

Keywords: STEAM-Digital; Local Wisdom; Learning Readiness; Physics Education; Ethnoscience

1. PENDAHULUAN

Transformasi pendidikan tinggi di era Revolusi Industri 4.0 dan Society 5.0 menuntut penguatan kompetensi abad ke-21 yang meliputi berpikir kritis, kreativitas, kolaborasi, komunikasi, serta literasi digital (Asrizal et al., 2023). Dalam konteks pendidikan sains, khususnya Fisika, pendekatan pembelajaran konvensional yang berorientasi pada transfer konten semata tidak lagi memadai untuk membangun kesiapan belajar mahasiswa secara holistik. Mahasiswa tidak hanya dituntut untuk memahami konsep abstrak, tetapi juga harus mampu mengintegrasikan sains dengan teknologi, rekayasa, seni, dan matematika dalam konteks penyelesaian masalah nyata (Bin Amiruddin et al., 2022). Oleh karena itu, diperlukan sebuah paradigma pembelajaran yang integratif, adaptif, dan kontekstual untuk menjembatani kesenjangan antara teori akademis dengan aplikasi di lapangan.

Pendekatan *Science, Technology, Engineering, Arts, and Mathematics* (STEAM) telah diakui secara global sebagai model pembelajaran yang mampu mendorong kreativitas dan pemecahan masalah lintas disiplin [1]. Berbagai studi literatur menunjukkan bahwa integrasi STEAM dalam pembelajaran sains secara signifikan dapat meningkatkan motivasi, keterlibatan akademik, dan hasil belajar mahasiswa (Nurul Latifah & Hidayat, 2024). Namun, di era digital saat ini, pendekatan STEAM saja belum cukup tanpa didukung oleh ekosistem teknologi digital interaktif. Pemanfaatan bahan ajar digital berbasis *Learning Management System* (LMS), multimedia, dan simulasi interaktif terbukti mampu meningkatkan *engagement* dan literasi digital mahasiswa (Fitriani et al., 2025a). Meskipun demikian, digitalisasi bahan ajar sering kali terjebak pada sekadar pemindahan teks ke dalam format layar tanpa mempertimbangkan kedalaman kontekstual yang membuat pembelajaran menjadi bermakna (*meaningful learning*).

Dalam upaya meningkatkan relevansi dan kebermaknaan pembelajaran, integrasi kearifan lokal atau etnosains menjadi elemen yang krusial. Kontekstualisasi konsep Fisika ke dalam realitas sosial-budaya masyarakat dapat memperkuat identitas sekaligus memudahkan mahasiswa mengonstruksi pengetahuan berdasarkan pengalaman kultural mereka (Bin Amiruddin et al., 2022). Sayangnya, sebagian besar pengembangan bahan ajar STEAM dan digital saat ini masih berfokus pada pendidikan dasar dan menengah, serta belum secara sistematis mengakomodasi kearifan lokal sebagai konteks epistemologis pada level pendidikan tinggi.

Di Universitas Muslim Nusantara (UMN) Al-Washliyah Medan, hasil observasi awal dan analisis kebutuhan menunjukkan adanya permasalahan mendasar dalam pembelajaran Fisika. Bahan ajar yang digunakan masih bersifat tekstual, minim visual interaktif, dan belum memanfaatkan potensi teknologi digital secara optimal. Lebih lanjut, konten pembelajaran belum mengaitkan konsep Fisika dengan realitas sosial-budaya Sumatera Utara, seperti kearifan lokal masyarakat Batak, Melayu Deli, dan Mandailing. Kondisi defisit kontekstual dan digital ini berdampak langsung pada rendahnya kesiapan belajar (*learning readiness*) mahasiswa, yang tercermin dari aspek motivasi, *self-efficacy*, dan keterlibatan akademik yang berada pada kategori sedang hingga rendah.

Beberapa penelitian terdahulu telah membuktikan bahwa modul STEAM dapat meningkatkan literasi sains (Putri et al., 2025), bahan ajar digital interaktif dapat meningkatkan motivasi (Sahida & Huriati, 2024), dan integrasi etnosains dapat memperkuat relevansi kontekstual (Fajriati et al., 2025). Namun, belum ditemukan model bahan ajar yang mengintegrasikan STEAM, teknologi digital

interaktif, dan kearifan lokal secara simultan dan sistemik, khususnya pada konteks pendidikan tinggi Fisika yang difokuskan pada peningkatan kesiapan belajar sebagai konstruk multidimensi. Kesenjangan riset (*gap analysis*) ini menjadi urgensi utama dilakukannya penelitian ini.

Berdasarkan latar belakang tersebut, penelitian ini bertujuan untuk: (1) mengidentifikasi kebutuhan dan karakteristik bahan ajar STEAM-Digital dalam konteks lokal Sumatera Utara; (2) mengembangkan dan memvalidasi prototipe bahan ajar Fisika STEAM-Digital bermuatan kearifan lokal; (3) menguji efektivitas model dalam meningkatkan kesiapan belajar mahasiswa Pendidikan Fisika; dan (4) menghasilkan produk prototipe yang laik industri dengan Tingkat Kesiapterapan Teknologi (TKT) level 6–7.

Penelitian ini memberikan kontribusi strategis baik secara akademik maupun praktis. Secara akademik, penelitian ini mengisi kesenjangan literatur terkait integrasi simultan STEAM, digitalisasi, dan kearifan lokal pada level pendidikan tinggi. Secara praktis, model yang dihasilkan mendukung transformasi digital pendidikan dan penguatan identitas budaya dalam sistem pembelajaran modern. Hal ini selaras dengan arahan ASTA CITA terkait penguatan SDM unggul, serta berkontribusi langsung pada pencapaian *Sustainable Development Goals* (SDGs), khususnya SDGs 4 (*Quality Education*) melalui inovasi pembelajaran, SDGs 9 (*Industry, Innovation and Infrastructure*) melalui pengembangan prototipe digital, dan SDGs 11 (*Sustainable Cities and Communities*) melalui pelestarian kearifan lokal dalam pendidikan.

2. METODE

Penelitian ini menggunakan pendekatan *Research and Development* (R&D) dengan desain quasi-experimental pada tahap pengujian efektivitas. Penelitian dilaksanakan di Program Studi Pendidikan Fisika, Universitas Muslim Nusantara (UMN) Al-Washliyah Medan dengan subjek 28 mahasiswa semester 4 yang dipilih menggunakan purposive sampling berdasarkan tingkat kesiapan belajar awal (kategori sedang–rendah).

Prosedur pengembangan dilaksanakan melalui tujuh tahapan: (1) analisis kebutuhan melalui observasi, angket diagnostik, dan studi dokumen; (2) desain prototipe yang mengintegrasikan konten STEAM, modul digital interaktif, sistem QR code, dan integrasi LMS dengan narasi etnosains Batak, Melayu Deli, dan Mandailing; (3) validasi ahli oleh tiga validator independen (ahli materi Fisika, ahli media digital, dan ahli budaya lokal) menggunakan skala Likert 4 poin; (4) uji terbatas pada 5-10 mahasiswa; (5) uji lapangan dengan desain pretest-posttest one-group; (6) revisi dan finalisasi untuk mencapai TKT level 6-7; dan (7) diseminasi melalui publikasi ilmiah dan pendaftaran HAKI.

Instrumen pengumpulan data meliputi: (1) angket validitas dan kepraktisan berbasis skala Likert 1-4; (2) kuesioner kesiapan belajar multidimensi (motivasi, self-efficacy, dan keterlibatan akademik); (3) tes hasil belajar; dan (4) lembar observasi keterlaksanaan pembelajaran.

Analisis data menggunakan pendekatan kuantitatif deskriptif dan inferensial. Data validitas dan kepraktisan dianalisis dengan skor rata-rata (ambang batas: $\geq 3,00$ untuk valid; $\geq 3,20$ untuk praktis). Efektivitas diuji menggunakan paired sample t-test ($\alpha = 0,05$) dan Normalized Gain (N-Gain) dengan kategori: $<0,3$ (rendah), $0,3-0,7$ (sedang), $>0,7$ (tinggi).

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Hasil Penelitian

Penelitian ini menghasilkan prototipe Model Bahan Ajar Fisika Berbasis STEAM-Digital bermuatan kearifan lokal Sumatera Utara. Berdasarkan tahapan

Research and Development (R&D), capaian penelitian dipaparkan secara objektif melalui empat indikator utama: analisis kebutuhan, validitas, kepraktisan, dan efektivitas.

Analisis Kebutuhan dan Desain Prototipe Hasil analisis kebutuhan pada tahap awal menunjukkan kesenjangan yang signifikan antara kondisi eksisting dan tuntutan kompetensi abad ke-21. Sebanyak 85% mahasiswa menyatakan bahan ajar tidak mengontekstualisasikan budaya lokal, 82% menilai integrasi digital belum sistematis, dan 64% memiliki kesiapan belajar pada kategori sedang-rendah. Merespons hal tersebut, prototipe bahan ajar dirancang dengan empat arsitektur utama: (1) konten STEAM yang menghubungkan konsep Fisika dengan teknologi dan rekayasa, (2) modul digital interaktif yang terintegrasi dengan *Learning Management System* (LMS), (3) sistem *QR code* yang memuat simulasi dan video eksperimen kontekstual, serta (4) narasi etnosains berbasis kearifan lokal Batak, Melayu Deli, dan Mandailing.

Validitas dan Kepraktisan Produk Tahap validasi melibatkan tiga ahli (materi, media digital, dan budaya lokal). Hasil penilaian menunjukkan bahwa produk layak untuk diuji lapangan.

Tabel 1. Hasil Validasi Ahli

Aspek Penilaian	Skor Rata-rata (1-4)	Kategori
Kelayakan Materi Fisika & STEAM	3,45	Valid
Kelayakan Media Digital & LMS	3,38	Valid
Integrasi Kearifan Lokal	3,52	Sangat Valid
Rata-rata Total	3,45	Valid

Selanjutnya, uji kepraktisan (*small group test*) yang melibatkan 8 mahasiswa menghasilkan respons positif terhadap keterbacaan dan daya tarik visual bahan ajar.

Tabel 2. Hasil Uji Kepraktisan (Small Group Test)

Indikator	Skor Rata-rata	Kategori
Kemudahan Penggunaan	3,40	Praktis
Keterbacaan & Navigasi	3,35	Praktis
Daya Tarik Visual & Interaktivitas	3,50	Sangat Praktis
Rata-rata Total	3,42	Praktis

Efektivitas terhadap Kesiapan Belajar Uji lapangan (*field test*) dilaksanakan pada 28 mahasiswa semester 4 menggunakan desain *pretest-posttest*. Peningkatan kesiapan belajar diukur melalui tiga konstruk: motivasi, *self-efficacy*, dan keterlibatan akademik.

Tabel 3. Peningkatan Kesiapan Belajar Mahasiswa (N = 28)

Komponen Kesiapan Belajar	Skor Pretest	Skor Posttest	N-Gain	Kategori
Motivasi Belajar	62,0	81,0	0,50	Sedang
<i>Self-efficacy</i>	60,0	78,0	0,45	Sedang
Keterlibatan Akademik	65,0	84,0	0,54	Sedang-Tinggi
Rata-rata Keseluruhan	62,3	81,0	0,49	Sedang

Uji statistik *paired sample t-test* menunjukkan nilai $p < 0,05$, yang mengindikasikan bahwa peningkatan kesiapan belajar mahasiswa setelah intervensi menggunakan bahan ajar STEAM-Digital bermuatan kearifan lokal bersifat signifikan. Secara keseluruhan, produk telah mencapai Tingkat Kesiapterapan Teknologi (TKT) level 6–7, di mana prototipe telah diuji dalam lingkungan nyata dan siap menuju hilirisasi.

3.2. Pembahasan

Hasil penelitian menunjukkan bahwa integrasi sistemik antara pendekatan STEAM, teknologi digital interaktif, dan kearifan lokal terbukti valid (3,45), praktis (3,42), dan efektif (N-Gain 0,49) dalam meningkatkan kesiapan belajar mahasiswa Pendidikan Fisika. Temuan ini menjawab permasalahan mendasar mengenai dominasi bahan ajar tekstual yang selama ini menurunkan *engagement* dan motivasi belajar di tingkat pendidikan tinggi.

Integrasi Kearifan Lokal dan STEAM dalam Membangun *Meaningful Learning* Validitas tinggi pada aspek kearifan lokal (3,52) mengonfirmasi bahwa kontekstualisasi konsep Fisika ke dalam realitas sosial-budaya Sumatera Utara (seperti arsitektur tradisional Batak, sistem irigasi Melayu, atau tenun Mandailing) berfungsi sebagai jembatan epistemologis yang kuat. Hal ini sejalan dengan temuan Sahida dan Huriati (Fitriani et al., 2025b) serta Putri et al. (Malawau et al., 2026) yang menyatakan bahwa etnosains mampu mengubah persepsi mahasiswa terhadap Fisika yang sebelumnya dianggap abstrak dan menakutkan menjadi relevan dan bermakna (*meaningful learning*). Ketika mahasiswa melihat konsep Fisika beroperasi dalam budaya mereka sendiri, terjadi asosiasi kognitif yang memperkuat retensi memori dan motivasi intrinsik.

Selain itu, pendekatan STEAM yang dibungkus dalam modul digital interaktif dan *QR code* memfasilitasi transisi dari pembelajaran pasif menjadi konstruktivisme aktif. Mahasiswa tidak hanya mengonsumsi informasi, tetapi melakukan eksplorasi simulasi digital yang memenuhi tuntutan literasi digital abad ke-21 (Kapasheva et al., 2024). Daya tarik visual yang dinilai "Sangat Praktis" (3,50) menunjukkan bahwa desain antarmuka (UI/UX) yang adaptif sangat krusial dalam mempertahankan atensi mahasiswa di era *digital native*.

Efektivitas terhadap Konstruk Multidimensi Kesiapan Belajar Peningkatan kesiapan belajar dengan N-Gain 0,49 (kategori sedang) memberikan implikasi teoretis dan praktis yang mendalam. Kesiapan belajar bukan sekadar kesiapan kognitif, melainkan konstruk multidimensi yang mencakup afeksi (motivasi) dan regulasi diri (*self-efficacy*).

1. Motivasi dan Keterlibatan: Fitur multimedia dan simulasi interaktif memicu rasa ingin tahu (ketertarikan) yang berujung pada peningkatan keterlibatan akademik (N-Gain 0,54).
2. Self-efficacy: Konteks masalah lokal yang disajikan dalam format *Problem-Based Learning* memberikan tantangan yang realistis namun dapat dijangkau (*attainable challenge*). Keberhasilan mahasiswa memecahkan masalah Fisika berbasis kasus lokal meningkatkan keyakinan diri (*self-efficacy*) mereka bahwa mereka mampu menguasai sains dan mengaplikasikannya untuk komunitas mereka.

Temuan ini memperkuat studi terdahulu dari Fitriani et al. (Sahida & Huriati, 2024) dan Havvani & Diyana (Putri et al., 2025) bahwa digitalisasi bahan ajar yang disertai relevansi kontekstual secara signifikan mendorong *engagement*. Kebaruan (*novelty*) penelitian ini terletak pada pembuktiannya di level pendidikan tinggi, di mana tuntutan berpikir kritis dan transdisipliner (STEAM) jauh lebih kompleks dibandingkan di pendidikan dasar/menengah.

Implikasi Strategis dan Capaian TKT Capaian TKT level 6–7 menandakan bahwa model bahan ajar ini telah melampaui tahap validitas laboratorium (kelas uji coba) dan terbukti handal dalam ekosistem pembelajaran nyata (LMS kampus). Kesiapan ini membuka peluang hilirisasi yang strategis. Produk ini tidak hanya mendukung ASTA CITA dalam penguatan SDM unggul, tetapi juga berkontribusi langsung pada *Sustainable Development Goals* (SDGs): SDGs 4 melalui inovasi pedagogik yang inklusif, SDGs 9 melalui infrastruktur digital (LMS & HAKI), dan SDGs 11 melalui pelestarian kearifan lokal dalam sistem pendidikan modern. Ke depan, sistem ini memiliki potensi untuk direplikasi

lintas mata kuliah (seperti Mekanika dan Fisika Modern) dan diintegrasikan dengan *learning analytics* untuk pemetaan kesiapan belajar yang lebih adaptif.

4. KESIMPULAN DAN SARAN

4.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan yang telah diuraikan, dapat ditarik beberapa kesimpulan utama sebagai berikut.

Pertama, model bahan ajar Fisika berbasis STEAM-Digital bermuatan kearifan lokal Sumatera Utara berhasil dikembangkan sebagai solusi atas permasalahan rendahnya kesiapan belajar mahasiswa akibat dominasi bahan ajar tekstual yang minim konteks. Model ini mengintegrasikan secara sistemik pendekatan STEAM, teknologi digital interaktif (LMS dan *QR code*), serta narasi etnosains dari budaya Batak, Melayu Deli, dan Mandailing, sehingga menciptakan ekosistem pembelajaran yang transdisipliner dan kontekstual.

Kedua, prototipe bahan ajar yang dihasilkan terbukti valid dan praktis untuk diimplementasikan. Hasil validasi ahli (materi, media, dan budaya) menunjukkan kategori valid dengan skor rata-rata 3,45, sementara uji kepraktisan pada kelompok terbatas menghasilkan skor 3,42 (kategori praktis). Hal ini mengindikasikan bahwa desain instruksional, integrasi teknologi, dan antarmuka digital bahan ajar telah memenuhi standar kelayakan akademik serta mudah dioperasikan oleh mahasiswa.

Ketiga, model bahan ajar ini efektif dalam meningkatkan kesiapan belajar mahasiswa secara signifikan. Uji lapangan menunjukkan peningkatan yang substansial pada konstruk multidimensi, yaitu motivasi, *self-efficacy*, dan keterlibatan akademik, dengan nilai *Normalized Gain* (N-Gain) sebesar 0,49 (kategori sedang) dan hasil uji-*t* yang signifikan ($p < 0,05$). Kontekstualisasi budaya lokal yang dipadukan dengan simulasi digital terbukti mampu menjembatani konsep Fisika yang abstrak menjadi pengalaman belajar yang bermakna (*meaningful learning*).

Keempat, produk penelitian ini telah mencapai Tingkat Kesiapterapan Teknologi (TKT) level 6–7. Prototipe telah diuji dalam lingkungan pembelajaran nyata dan terbukti handal, sehingga siap untuk tahap hilirisasi, replikasi lintas mata kuliah (seperti Mekanika dan Fisika Modern), serta perlindungan kekayaan intelektual melalui pendaftaran paten sederhana.

4.2 Saran

Berdasarkan temuan dan pembahasan penelitian, beberapa saran strategis diajukan sebagai pertimbangan untuk implementasi dan pengembangan penelitian selanjutnya: *Pertama*, bagi dosen dan praktisi pendidikan, disarankan untuk mengimplementasikan model bahan ajar STEAM-Digital bermuatan kearifan lokal ini tidak hanya pada mata kuliah Fisika Dasar, tetapi juga mereplikasinya pada mata kuliah lain seperti Mekanika, Listrik-Magnet, dan Fisika Modern. Dosen perlu terus mengembangkan konten kontekstual yang adaptif terhadap dinamika budaya dan kebutuhan mahasiswa agar pembelajaran tetap relevan dan bermakna.

Kedua, bagi institusi pendidikan tinggi, universitas perlu memperkuat infrastruktur digital, khususnya optimalisasi *Learning Management System* (LMS) dan penyediaan akses internet yang stabil, untuk mendukung ekosistem pembelajaran digital yang inklusif. Selain itu, penyelenggaraan pelatihan berkelanjutan bagi dosen mengenai integrasi STEAM dan etnosains dalam kurikulum berbasis *Outcome-Based Education* (OBE) sangat direkomendasikan untuk mempercepat transformasi digital pendidikan.

Ketiga, bagi peneliti selanjutnya, disarankan untuk memperluas cakupan populasi dan lokasi uji coba lintas perguruan tinggi untuk menguji generalisasi model. Pengembangan model selanjutnya dapat diarahkan pada integrasi *learning*

There are no sources in the current document. mengukur dampak model terhadap variabel konstruk lain seperti keterampilan berpikir kritis, literasi sains, dan kreativitas mahasiswa dalam jangka panjang (studi longitudinal). Keempat, bagi pengembang kebijakan dan penyusun kurikulum, hasil penelitian ini dapat dijadikan rujukan empiris dalam penyusunan kebijakan kurikulum yang mengintegrasikan pendekatan transdisipliner (STEAM) dan penguatan identitas budaya lokal. Hal ini sejalan dengan upaya mewujudkan transformasi digital pendidikan tinggi yang tidak hanya berorientasi pada kemajuan teknologi, tetapi juga berakar pada kearifan dan nilai-nilai kebangsaan.

DAFTAR PUSTAKA

- Asrizal, A., Annisa, N., Festiyed, F., Ashel, H., & Amnah, R. (2023). STEM-integrated physics digital teaching material to develop conceptual understanding and new literacy of students. *Eurasia Journal of Mathematics, Science and Technology Education*, 19(7). <https://doi.org/10.29333/ejmste/13275>
- Bin Amiruddin, M. Z., Magfiroh, D. R., Savitri, I., & Binti Rahman, S. M. I. (2022). Analysis of The Application of The STEAM Approach to Learning In Indonesia: Contributions to Physics Education. *International Journal of Current Educational Research*, 1(1), 1–17. <https://doi.org/10.53621/ijocer.v1i1.139>
- Fajriati, L., Alhusni, H. Z., & Lintangesukmanjaya, R. T. (2025). *Journal of Current Studies in SDGs A Comprehensive Analysis of STEAM Learning Implementation to Foster Critical Thinking Skills for Equitable and Quality Physics Education in High Schools* (Vol. 1, Number 3).
- Fitriani, W., Asyifa Irchami, R., & Bakri, F. (2025a). Jurnal Penelitian dan Pengembangan Pendidikan Fisika. *JPPPF*, 11(2). <https://doi.org/10.21009/1>
- Fitriani, W., Asyifa Irchami, R., & Bakri, F. (2025b). Jurnal Penelitian dan Pengembangan Pendidikan Fisika. *JPPPF*, 11(2). <https://doi.org/10.21009/1>
- Kapasheva, Z., Mirza, N., Shastsitka, I., Gelmanova, Z., Makouchyk, A., & Umbetova, A. (2024). Modeling the development of pedagogical competence in higher education educators amid the digitization of the contemporary world. *Frontiers in Education*, 9. <https://doi.org/10.3389/feduc.2024.1360712>
- Malawau, S., Eveline, E., Sutami Suharlan, L., & Nabila Saufika Zainuri, B. (2026). *Inovasi Pembelajaran Fisika: Sinergi Guru Abad 21 Dan Teknologi Ai Dalam Rangka Pengembangan Profesional Dosen, Guru, Dan Calon Guru Di Indonesia Timur*. 9(2), 2614–7947. <https://doi.org/10.29303/jppm.v9i2.4408>
- Nurul Latifah, R., & Hidayat, A. (2024). *Physics Learning Media with Multirepresentation: A Systematic Literature Review*. <https://doi.org/10.21009/1>
- Putri, R. M., Asrizal, & Fitri, M. N. (2025). Development of E-Physics Teaching Material Integrated with Augmented Reality and Ethno-Meaningful Learning to Promote Students' 21st Century Skills. *Jurnal Penelitian Pendidikan IPA*, 11(7), 1172–1185. <https://doi.org/10.29303/jppipa.v11i7.12214>
- Sahida, D., & Huriati, N. (2024). Development of a Physics E-Module Integrated Local Wisdom and Problem Based Learning (PBL) to Increase Student Preparedness. *Jurnal Pendidikan Fisika Dan Teknologi*, 10(2), 509–525. <https://doi.org/10.29303/jpft.v10i2.8114>