

Pengembangan E-Modul Berbasis TPACK pada Materi Gelombang SMA Kelas XI

Widda Taslimah Alfani^{1*}, Esmar Budi², Fauzi Bakri³

^{1,2,3} Prodi Pendidikan Fisika, Fakultas Matematika Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Jakarta, Jl. Rawamangun Muka, Jakarta 13220

*widdataslimah@gmail.com

ABSTRAK

Di era digitalisasi yang berkembang pesat, peserta didik dituntut untuk memiliki keterampilan abad 21 seperti kreativitas, komunikasi, berpikir kritis, kolaborasi, literasi digital, dan keterampilan memecahkan masalah. Salah satu cara untuk meningkatkan keterampilan tersebut adalah mengintegrasikan media pembelajaran dengan teknologi. Implementasi TPACK (*Technological Pedagogical Content Knowledge*) pada e-modul dapat mengembangkan keterampilan abad 21 peserta didik. Tujuan penelitian ini adalah untuk menghasilkan e-modul fisika berbasis TPACK yang terdiri dari CK (*Content Knowledge*), PK (*Pedagogical Knowledge*), TK (*Technological Knowledge*), PCK (*Pedagogical Content Knowledge*), TPK (*Technological Pedagogical Knowledge*), dan TCK (*Technological Content Knowledge*) pada materi gelombang untuk siswa SMA kelas XI. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode penelitian dan pengembangan (R&D) dengan tahapan Lee & Owens. Hasil penelitian diperoleh dengan melakukan uji validasi oleh ahli materi, ahli media, dan ahli pembelajaran yang memperoleh skor rata-rata sebesar 86,89% dengan skala interpretasi sangat layak. E-modul juga telah diuji coba kepada siswa SMA yang memperoleh skor rata-rata sebesar 91,53% dengan skala interpretasi sangat baik. Oleh karena itu, dapat disimpulkan bahwa e-modul berbasis TPACK yang dikembangkan telah dinyatakan layak untuk digunakan sebagai media pembelajaran fisika di SMA.

Kata kunci: TPACK, E-modul, Gelombang

ABSTRACT

In the era of rapid digitalization, students are required to have 21st century skills such as creativity, communication, critical thinking, collaboration, digital literacy, and problem-solving skills. One way to improve these skills is to integrate learning media with technology. The implementation of TPACK (Technological Pedagogical Content Knowledge) in e-modules can develop students' 21st century skills. The purpose of this study was to produce a TPACK-based physics e-module consisting of CK (Content Knowledge), PK (Pedagogical Knowledge), TK (Technological Knowledge), PCK (Pedagogical Content Knowledge), TPK (Technological Pedagogical Knowledge), and TCK (Technological Content Knowledge) on wave material for grade XI high school students. The method used in this study is the Research and Development (R&D) method with the Lee & Owens stages. The results of the study were obtained by conducting a validation test by material, media, and learning experts who obtained an average score of 86.89% with a very feasible interpretation scale. The e-module has also been tested on high school students who obtained an average score of 91.53% with a very good interpretation scale. Therefore, it can be concluded that the TPACK-based e-module developed has been declared feasible to be used as a physics learning medium in high school.

Keywords: TPACK, E-module, Wave

1. PENDAHULUAN

Kemajuan teknologi abad 21 telah membawa perubahan besar dalam berbagai aspek kehidupan, termasuk pendidikan. Era digital menuntut pendidikan untuk menyiapkan generasi muda dengan keterampilan sains dan literasi teknologi yang relevan (Mardhiyah et al., 2021). Dalam pembelajaran sains, fisika sebagai ilmu dasar prinsip-prinsip teknologi memiliki peran penting dalam membekali peserta didik berpikir kritis, pemecahan masalah, dan literasi teknologi yang semakin dibutuhkan di era digital ini (Bao & Koening, 2019; McNeil & Heron, 2017).

Kurikulum merdeka yang diterapkan di Indonesia berupaya menjawab kebutuhan pendidikan yang sesuai dengan tuntutan abad ke-21 (Hanipah, 2023). Kurikulum ini menekankan pentingnya pembelajaran yang bersifat kontekstual, kolaboratif, dan berpusat pada peserta didik, dengan penekanan khusus pada pengembangan keterampilan berpikir kritis, kreativitas, dan pemecahan masalah (Yose et al., 2022). Kurikulum merdeka berupaya memberikan pemahaman yang tidak hanya teoritis, tetapi juga praktis dan kontekstual, agar peserta didik dapat menghubungkan konsep fisika dengan fenomena dan aplikasi nyata di sekitar mereka (Kalsum et al., 2024). Dengan demikian, peserta didik tidak hanya dituntut untuk menghafal konsep-konsep fisika, tetapi juga untuk memahami dan menerapkannya secara mandiri. Pendekatan ini diharapkan dapat membangun keterampilan peserta didik dalam melakukan proses sains, seperti mengamati, mengajukan pertanyaan, merumuskan hipotesis, melakukan eksperimen, dan menarik kesimpulan.

Salah satu aspek penting dari kurikulum merdeka adalah pengintegrasian teknologi dalam proses pembelajaran. Integrasi teknologi dan media pembelajaran menjadi aspek penting dalam mendukung tujuan kurikulum merdeka, yang tidak hanya menitikberatkan pada penguasaan materi akademis tetapi juga pada kemampuan adaptasi dalam dunia digital (Sasmita & Darmansyah, 2022). Penggunaan teknologi

dalam pendidikan memungkinkan terciptanya pembelajaran yang lebih fleksibel, interaktif, dan relevan dengan kehidupan sehari-hari (Maslakhah et al., 2024), terutama pada pembelajaran fisika materi gelombang yang meliputi gelombang bunyi dan gelombang cahaya.

Pemahaman tentang konsep gelombang yang erat kaitannya dengan kehidupan sehari-hari dan teknologi menuntut peserta didik untuk dapat menghubungkan teori fisika dengan aplikasi nyata. Namun, pembelajaran materi gelombang fisika di sekolah seringkali mengalami kendala karena kurangnya media ajar yang kontekstual atau penerapan model pembelajaran yang sulit diterima oleh peserta didik (Mahombar, 2024; Suganda et al., 2021). Oleh karena itu, guru memerlukan media pembelajaran yang memuat konsep gelombang secara visual dan konkret untuk memfasilitasi siswa dalam memahami konsep-konsep abstrak dengan lebih mudah dan mengembangkan kemandirian belajar.

Media pembelajaran yang memanfaatkan teknologi sekaligus memuat pedagogi dan konten adalah *e-modul* berbasis TPACK (*Technological Pedagogical Content Knowledge*) (Hardanti et al., 2024). Kerangka kerja TPACK mengintegrasikan pemahaman tentang konten (materi gelombang), pedagogi (cara mengajar yang efektif), dan teknologi (penggunaan perangkat digital atau aplikasi) untuk menciptakan pengalaman belajar yang interaktif dan mendalam (Septiandari, 2020; Junaida et al., 2023).

TPACK pada perkembangannya saat ini telah menjadi kerangka kerja yang dapat digunakan untuk memahami dan menggambarkan pengetahuan guru dalam mengintegrasikan teknologi pada pembelajaran. TPACK terdiri dari 3 jenis kombinasi dan perpaduan dasar, yaitu *Technological Knowledge* (TK), *Pedagogical Knowledge* (PK), dan *Content Knowledge* (CK), kemudian dari perpaduan 3 pengetahuan dasar tersebut menghasilkan 4 pengetahuan baru, meliputi *Pedagogical Content Knowledge* (PCK), *Technological Content Knowledge*

(TCK), *Technological Pedagogical Knowledge* (TPK), dan *Technological Pedagogical Content Knowledge* (TPACK) (Koehler, 2013).

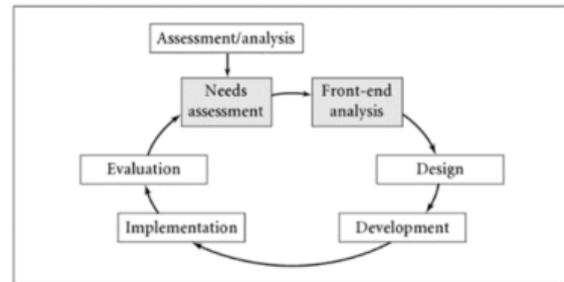
Penggunaan kerangka TPACK dalam e-modul dapat mengoptimalkan kegiatan pembelajaran peserta didik. Penelitian yang telah dilakukan sebelumnya mengenai penggunaan kerangka TPACK pada media pembelajaran menunjukkan bahwa media pembelajaran berbasis TPACK dapat melatih keterampilan 4C peserta didik serta menjadikan pembelajaran lebih bermakna dan tidak membosankan (Bakri & Sunardi, 2022; Susila et al., 2021). Penelitian lain menyarankan penerapan TPACK diperlukan untuk keberhasilan pemanfaatan teknologi pembelajaran sains yang erat kaitannya dengan konsep abstrak dan membutuhkan visualisasi untuk dapat membawa peserta didik ke dalam situasi yang nyata (Tanak, 2020).

Dengan e-modul berbasis TPACK, guru dapat memanfaatkan teknologi digital untuk menyajikan konsep gelombang melalui visualisasi, simulasi, dan eksperimen virtual, yang dapat meningkatkan keterlibatan dan pemahaman peserta didik (Hardanti et al., 2024; Doyan et al., 2018; Khaerunnisak, 2018). E-modul ini memungkinkan peserta didik untuk belajar secara mandiri, mengakses materi secara fleksibel, dan mengembangkan keterampilan abad 21.

Berdasarkan uraian di atas, artikel ini memaparkan hasil penelitian tentang pengembangan e-modul berbasis TPACK pada materi gelombang untuk peserta didik SMA Kelas XI.

2. METODE PENELITIAN

Metode penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode penelitian dan pengembangan (R&D). Model yang digunakan dalam penelitian ini adalah model Lee & Owens. Gambar 1 merupakan salah satu langkah dalam model Lee & Owens.



Gambar 1. Model Pengembangan Lee & Owens

Metode Lee & Owens terdiri dari lima tahap yaitu:

- 1) *Assessment and Analysis* (penilaian dan analisis), yang terbagi menjadi dua yaitu *need assessment* yang bertujuan untuk mengetahui perbedaan antara kondisi aktual dengan kondisi yang diinginkan, dan *front-end analysis* yang bertujuan untuk melengkapi informasi tentang apa yang akan dikembangkan.
- 2) *Design* (desain), berisi tahapan merancang spesifikasi media yang akan dikembangkan, merancang struktur materi yang akan dikembangkan, dan menyiapkan perangkat yang diperlukan untuk proses validasi ahli dan uji pengguna.
- 3) *Development* (pengembangan), proses merealisasikan produk sesuai dengan desain yang telah dibuat sebelumnya. Pada tahap ini dilakukan uji validasi oleh ahli materi, ahli media, dan ahli pembelajaran.
 - a) Instrumen validasi ahli materi
Pada instrumen ini memuat 3 aspek penilaian yang meliputi cakupan materi, penyajian materi, serta bahasa.
 - b) Instrumen validasi ahli media
Pada instrumen ini memuat 4 aspek penilaian yang meliputi komponen e-modul, tampilan, karakteristik e-modul serta bahasa.
 - c) Instrumen validasi ahli pembelajaran
Pada instrumen ini memuat 2 aspek penilaian yang meliputi pengaplikasian TPACK dan tahapan keterampilan proses.

Teknik analisis data yang digunakan pada penelitian ini menggunakan skala likert dengan rentang 1 sampai 5 yang dijabarkan pada rubrik penilaian.

Tabel 1. Kriteria Interpretasi Skala Likert

Respon	Bobot Skor
Sangat Tidak Setuju	1
Tidak Setuju	2
Cukup Setuju	3
Setuju	4
Sangat Setuju	5

Selanjutnya persentase hasil validasi produk dapat ditentukan dengan cara sebagai berikut:

$$\text{Persentase validasi (\%)} = \frac{\text{jumlah skor diperoleh}}{\text{jumlah skor maksimum}} \times 100\%$$

$$\text{Rentang skor (Rs)} = \frac{\text{skala maksimum} - \text{skala minimum}}{\text{skala maksimum}}$$

Dalam penelitian ini diperoleh $Rs=0,80$, sehingga interpretasi validasi produk diberikan dengan mengacu pada Tabel 2.

Tabel 2. Interpretasi Validasi Produk

Persentase	Interpretasi
$20\% \leq P < 36\%$	Sangat Tidak Layak
$36\% \leq P < 52\%$	Tidak Layak
$52\% \leq P < 78\%$	Cukup Layak
$78\% \leq P < 84\%$	Layak
$84\% \leq P \leq 100\%$	Sangat Layak

- 4) *Implementation* (implementasi), berisi tahapan yang meliputi serangkaian kegiatan uji coba guru dan uji coba peserta didik.
- 5) *Evaluation* (evaluasi), berisi rancangan evaluasi.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

a. Hasil Produk

Penelitian ini menghasilkan produk e-modul berbasis TPACK pada materi gelombang tingkat SMA. E-modul tersebut memuat komponen-komponen e-modul yang merujuk pada Ditjen Pendidikan Dasar dan Menengah sebagai berikut.

- 1) Cover Depan

Berisi nama media, judul materi, logo Universitas Negeri Jakarta, nama peneliti, sasaran penggunaan e-modul, dan ilustrasi/gambar terkait salah satu penerapan gelombang dalam teknologi.

- 2) Kata Pengantar
Berisi ucapan syukur kepada Allah Swt, penjelasan tujuan pembuatan e-modul, penjelasan harapan penulis, serta permintaan saran dan kritik.
- 3) Daftar Isi
Menampilkan setiap judul unit materi dan kegiatan belajar lengkap dengan nomor halamannya
- 4) Petunjuk Penggunaan E-modul
Berupa perintah maupun fungsi fitur-fitur yang terdapat dalam e-modul.
- 5) Peta Konsep
Berisi bagan atau ilustrasi grafis yang menampilkan hubungan yang bermakna antara satu konsep dengan konsep lainnya.
- 6) Capaian Pembelajaran
Berisi penjabaran capaian pembelajaran kurikulum merdeka pada elemen pemahaman fisika konsep gelombang kelas XI dan elemen keterampilan proses.
- 7) Judul Unit
E-modul terdiri dari tiga unit materi yaitu gelombang, gelombang bunyi dan gelombang cahaya.
- 8) Kegiatan Belajar
Masing-masing unit pada e-modul memuat kegiatan belajar berbasis TPACK yang dijabarkan sebagai berikut.
 - a) Unit 1 (Gelombang) terdiri dari:
 - Kegiatan belajar 1: Gelombang dan Besarannya.
 - b) Unit 2 (Gelombang Bunyi) terdiri dari:
 - Kegiatan belajar 1: Cepat Rambat Bunyi dan Efek Doppler
 - Kegiatan belajar 2: Dawai dan Pipa Organa
 - Kegiatan belajar 3: Sifat-Sifat Bunyi Dan Intensitas Bunyi
 - c) Unit 3 (Gelombang Cahaya) terdiri dari:

- Kegiatan belajar 1: Polarisasi dan Dispersi Cahaya
 - Kegiatan belajar 2: Interferensi dan Difraksi Cahaya
- 9) Rangkuman
 Berisi hal-hal penting yang disimpulkan dari setiap unit.
- 10) Soal Evaluasi
 Setiap unit pada e-modul dilengkapi oleh soal evaluasi yang disusun berdasarkan literasi sains untuk menstimulus proses berpikir kritis dan kreativitas peserta didik.
- 11) Daftar Pustaka
 Berisi referensi yang digunakan dalam penyusunan e-modul yang dikembangkan.

Kegiatan belajar pada e-modul memuat 6 komponen TPACK, sebagai berikut.

- 1) *Technological Knowledge (TK)*
 Penyajian materi memanfaatkan teknologi dan fitur-fitur yang terdapat pada e-modul, seperti video/ilustrasi serta virtual lab PhET dan oPhysics.



Gambar 1. Video Polarisasi Cahaya



Gambar 2. Percobaan Virtual PhET

- 2) *Pedagogical Knowledge (PK)*
 Pada awal e-modul menampilkan pertanyaan pemantik untuk mengeksplorasi pengetahuan awal siswa. Pada kegiatan belajar e-modul disusun berdasarkan langkah-langkah kemampuan proses sains kurikulum merdeka.

- 3) *Content Knowledge (CK)*
 Konsep fisika pada e-modul disajikan secara multi-representasi dan kontekstual.



Gambar 3. Konten Disajikan Secara Kontekstual dan Multi-Representasi dengan Gambar dan Animasi



Gambar 4. Konten disajikan Secara Multi-Representasi dengan Tabel dan Grafik

- 4) *Technological Pedagogical Knowledge (TPK)*
 Pemanfaatan fitur-fitur, seperti video pada pertanyaan pemantik membantu siswa mengaitkan konsep yang sudah dimiliki dengan yang akan dipelajari, serta virtual lab PhET dan oPhysics untuk mensimulasikan percobaan sederhana.
- 5) *Technological Content Knowledge (TCK)*
 Video pada bagian “Did you know?” membantu siswa memahami

pemanfaatan teknologi pada konsep yang dipelajari serta kolom “Fakta dalam kehidupan sehari-hari” menambah wawasan siswa mengenai fenomena fisika yang sesuai dengan konsep yang sedang dipelajari.



Gambar 5. Tampilan “Did You Know?”



Gambar 6. Tampilan Fakta dalam Kehidupan Sehari-Hari

6) *Pedagogical Content Knowledge (PCK)*

Penyajian konsep dalam e-modul dilengkapi dengan cek pemahaman serta kolom “*Lets Think*” untuk meningkatkan keterampilan berpikir peserta didik.



Gambar 7. Tampilan Kolom “*Lets Think*”

b. Hasil Uji Kelayakan

Produk e-modul yang dikembangkan telah dilakukan uji validasi ahli materi, uji validasi ahli media dan uji validasi ahli pembelajaran. Berikut merupakan tabel

berisi aspek penilaian dari masing-masing validator.

Tabel 3. Hasil Uji Validasi Materi

Aspek Penilaian	Persentase Skor	Interpretasi
Cakupan Materi	80%	Layak
Penyajian Materi Bahasa	90%	Sangat Layak
Rata-rata	86,67%	Sangat Layak

Tabel 4. Hasil Uji Validasi Media

Aspek Penilaian	Persentase Skor	Interpretasi
Komponen E-modul	80%	Layak
Tampilan E-modul	92%	Sangat Layak
Karakteristik E-modul Bahasa	80%	Layak
Rata-rata	100%	Sangat Layak
Rata-rata	88%	Sangat Layak

Tabel 5. Hasil Uji Validasi Pembelajaran

Aspek Penilaian	Persentase Skor	Interpretasi
Pengaplikasian TPACK	80%	Layak
Tahapan Keterampilan Proses	92%	Sangat Layak
Rata-rata	86%	Sangat Layak

Media e-modul berbasis TPACK yang dihasilkan dinilai sangat layak dari segi materi, media, dan pembelajaran. Dari Tabel 3, 4, dan 5 dapat dijabarkan bahwa e-modul yang dikembangkan memperoleh skor rata-rata 86,89%, dengan persentase rata-rata ahli materi sebesar 86,67%, ahli media sebesar 88%, dan ahli pembelajaran sebesar 86%. Berdasarkan hasil uji kelayakan e-modul pada materi gelombang, gelombang bunyi, dan gelombang cahaya dinyatakan sangat layak sebagai media pembelajaran fisika di SMA.

c. Hasil Uji Coba Produk

Uji coba produk oleh pengguna dilakukan setelah produk dinyatakan layak oleh para ahli. Uji coba produk oleh pengguna diberikan kepada guru dan peserta didik.

1) Uji Coba Produk oleh Guru

Uji coba produk oleh guru melibatkan dua orang guru fisika SMA Negeri 75 Jakarta. Uji coba produk oleh guru bertujuan untuk mengetahui respon guru fisika terhadap kegunaan e-modul yang telah dikembangkan. Uji coba ini memuat lima aspek, yaitu aspek materi, aspek TPACK, aspek tampilan, aspek manfaat, dan aspek bahasa. Hasil uji coba produk oleh guru fisika mendapatkan rata-rata persentase skor sebesar 96,58%. Hal ini menunjukkan bahwa produk e-modul yang dikembangkan dinilai sangat baik untuk digunakan dalam pembelajaran fisika di SMA.

2) Uji Coba Produk oleh Peserta Didik

Uji coba produk oleh peserta didik dilakukan di SMA Negeri 75 Jakarta terhadap 34 orang peserta didik. Uji coba produk oleh peserta didik bertujuan untuk mengetahui respon peserta didik terhadap kegunaan e-modul yang telah dikembangkan. Uji coba ini memuat lima aspek, yaitu aspek materi, aspek TPACK, aspek tampilan, aspek manfaat, dan aspek bahasa. Hasil uji coba produk oleh guru fisika mendapatkan rata-rata persentase skor sebesar 91,53%. Hal ini menunjukkan bahwa produk e-modul yang dikembangkan dinilai sangat baik untuk digunakan dalam pembelajaran fisika di SMA.

4. KESIMPULAN

Media yang dihasilkan berupa e-modul berbasis TPACK dinilai layak sehingga dapat dijadikan referensi media pembelajaran yang menarik untuk dipelajari serta dapat memudahkan peserta didik dalam memvisualisasikan konsep fisika pada materi gelombang dan memotivasi peserta didik untuk belajar mandiri.

UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada seluruh pihak yang telah membantu dalam pengembangan e-modul pada materi gelombang berbasis TPACK ini. Penulis mengharapkan kritik dan saran untuk perbaikan agar e-modul ini

dapat dikembangkan menjadi lebih baik lagi.

DAFTAR PUSTAKA

- Bakri, F. & Sunardi, A.K. The TPACK Implementation in Physics Textbook with Augmented Reality: Enhance the 4C Skills at Mechanics Wave Concept. *Journal of Physics: Conference Series*, Institute of Physics Publishing. Doi: 10.1088/1742-6596/2377/1/012080.
- Bao, L. & Koenig, K. (2019). Physics education research for 21st century learning. *Disciplinary and Interdisciplinary Science Education Research*, 1(2), 1-12 <https://doi.org/10.1186/s43031-019-0007-8>
- Doyan, A., Taufik, M., & Anjani, R. (2018). Pengaruh Pendekatan Multi Representasi Terhadap Hasil Belajar Fisika Ditinjau Dari Motivasi Belajar Peserta Didik. *Jurnal Penelitian Pendidikan IPA*, 4(1). <https://doi.org/10.29303/jppipa.v4i1.99>
- Hanipah, S. (2023). Analisis Kurikulum Merdeka Belajar Dalam Memfasilitasi Pembelajaran Abad Ke-21 Pada Siswa Menengah Atas. *Jurnal Bintang Pendidikan Indonesia (JUBPI)*, 1(2), 264-275.
- Hardanti, P., Murtinugraha, R. E., & Arthur, R. (2024). Studi Literatur:Pemanfaatan Pendekatan TPACK (Technological, Pedagogical, And Content Knowledge) pada Pengembangan E-Modul Pembelajaran. *Jurnal Teknologi Pendidikan*, 1(3), 1-11. <https://doi.org/10.47134/jtp.v1i3.307>
- Junaida, Fitriyawany, & ZahriahIlyas. (2023). Development of TPACK-Based Physics Magazine as Teaching Material for High Schools: A Study on Rotational Dynamics and Rigid Body Equilibrium. *IMPULSE: Journal of Research and Innovation inPhysics*

- Education, 3(1), 19–30. Doi: 10.14421/impulse.2023.31-03
- Kalsum, U., Rosman, A., Humairah, N.A., & Fitrah, A. (2024). Implementasi Kurikulum Merdeka Belajar pada Mata Pelajaran Fisika. *Jurnal Fisika dan Pembelajarannya (PHYDAGOGIC)*, 6(2), 175-181.
- Khaerunnisak, K. (2018). Peningkatan Pemahaman Konsep dan Motivasi Belajar Siswa Melalui Simulasi Phisic Education Technology (PhET). *Jurnal Penelitian Pendidikan IPA*, 4(2), 7–12. <https://doi.org/10.29303/jppipa.v4i2.109>
- Koehler, M., Mishra, P., & Cain, W. (2013) What is technological pedagogical content knowledge (TPACK)?. *Journal of education*, 193(3), 13-19.
- Mahombar, A. (2024). Analisis Pemahaman Konsep dan Kendala Pemahaman Konsep Materi Getaran dan Gelombang. *Jurnal Fisika dan Pembelajarannya (PHYDAGOGIC)*, 6(2), 74-79.
- Mardhiyah, R. H., Aldriani, S. N. F., Chitta, F., & Zulfikar, M. R. (2021). Pentingnya Keterampilan Belajar di Abad 21 sebagai Tuntutan dalam Pengembangan Sumber Daya Manusia. *Jurnal Pendidikan*, 12(1), 29-40. <https://doi.org/10.31849/lectura.v12i1.5813>
- Maslakhah, I.F., Jatmiko, B., & Sanjaya, I.G.M. (2024). Development of Physics Learning Media: A Literature Review. *IJORER: International Journal of Recent Educational Research*, 5(2), 317-333. <https://doi.org/10.46245/ijorer.v5i2.558>
- McNeil, L. & Heron, P. (2017). Preparing physics students for 21st-century careers. *Physics Today*, 70(11), 38–43. <https://doi.org/10.1063/PT.3.3763>
- Sasmita, E., & Darmansyah. (2022). Analisis Faktor-Faktor Penyebab Kendala Guru Dalam Menerapkan Kurikulum Merdeka (Studi Kasus: Sdn 21 Koto Tuo, Kec. Baso). *Jurnal Pendidikan Dan Konseling*, 4(20), 1707–1715.
- Septiandari, W., Riandi, & Muslim. (2020). Technological Pedagogical and Content Knowledge (TPACK) design in learning sound wave to foster students' creativity. *Journal of Physics: Conference Series*, Institute of Physics Publishing. Doi: 10.1088/1742-6596/1521/4/042099
- Suganda, T., Parno, Sunaryono. (2021). Identifikasi Argumentasi Ilmiah Siswa Topik Gelombang Bunyi dan Cahaya. *Jurnal Pendidikan: Teori, Penelitian, dan Pengembangan*, 6(9), 1413–1417.
- Susila, A. B., Indiyahni, I. & Bakri, F. (2021) TPACK in blended learning media: Practice 4C skills for rotational dynamics in senior high school', *Journal of Physics: Conference Series*, Institute of Physics Publishing. Doi: 10.1088/17426596/2019/1/-012046
- Tanak, A. (2020). Designing TPACK-Based Course for Preparing Student Teachers to Teach Science with Technological Pedagogical Content Knowledge. *Kasetsart Journal of Social Sciences*, 41(1), 53–59. <https://doi.org/10.1016-/j.kjss.2018.07.012>
- Yose I, Nizardi J, Waskito, Agariadne D. S., Afif R. R., Novi H.A., (2022). Relevansi Kurikulum Merdeka Belajar dengan Model Pembelajaran Abad-21 dalam Perkembangan Era Society 5.0. *Edukatif: Jurnal Ilmu Pendidikan*, 7(2), 3011-3024.