

Eksperimen dan Visualisasi Komputasi Hukum Kekekalan Energi Mekanik Berbantuan MATLAB Mobile

Kamaruddin^{1)*}, Mutiara Syalomitha Sondakh²⁾, Kristiani Della Kadera²⁾, Efa Febrianti Doali²⁾,

¹Program Studi Fisika, Universitas Negeri Manado, Kabupaten Minahasa, 95618, Indonesia

²Pendidikan Fisika, Universitas Negeri Manado, Kabupaten Minahasa 95618 Indonesia

*Corresponding author. email: kamaruddin@unima.ac.id

Receipt : 04/06/2026; Revision : 26/06/2026; Accepted : 28/06/2026

ABSTRAK

Pembelajaran fisika sering kali mengalami kesulitan dalam menjelaskan konsep-konsep abstrak, salah satunya adalah hukum kekekalan energi mekanik. Penelitian ini bertujuan untuk merancang eksperimen dan simulasi komputasi menggunakan MATLAB Mobile guna mempermudah visualisasi dan pemahaman konsep fisika secara interaktif. Metode penelitian melibatkan eksperimen gerak bola pada bidang miring dengan variasi ketinggian mulai dari 10 cm hingga 50 cm, yang kemudian dianalisis dan divisualisasikan menggunakan pemrograman MATLAB. Hasil eksperimen menunjukkan bahwa waktu tempuh bola semakin singkat dan kecepatannya meningkat seiring bertambahnya ketinggian. Simulasi MATLAB Mobile dapat memvisualisasikan hubungan antara ketinggian, waktu tempuh, dan kecepatan secara teoritis maupun eksperimental dengan jelas. Nilai %error menunjukkan penyimpangan sebesar 26,40% pada ketinggian 10 cm (akibat dominasi gaya gesek pada sudut landai) dan 21,20% pada ketinggian 50cm (akibat keterbatasan presisi pengukuran waktu manual pada kecepatan tinggi), sedangkan pada ketinggian 20cm, 30cm, dan 40cm menunjukkan nilai %error yang ideal di bawah 6%. Temuan penelitian ini menunjukkan bahwa pendekatan komputasi yang digunakan berpotensi untuk diterapkan dalam mendukung pemahaman konsep fisika, melatih keterampilan literasi digital, serta analisis data berbantuan alat sederhana yang dikombinasikan dengan MATLAB Mobile. Dengan demikian, pendekatan ini dapat menjadi alternatif yang inovatif untuk mendukung kualitas pembelajaran sains di era digital.

Kata Kunci: eksperimen bidang miring, hukum kekekalan energi mekanik, komputasi ilmiah, MATLAB Mobile, pembelajaran fisika.

ABSTRACT

Physics learning often faces challenges in explaining abstract concepts, one of which is the law of conservation of mechanical energy. This study aims to design experiments and computational simulations using MATLAB Mobile to facilitate the interactive visualization and understanding of physics concepts. The research method involves experiments on ball motion on an inclined plane with varying heights ranging from 10 cm to 50 cm, which are then analyzed and visualized using MATLAB programming. The experimental results show that the travel time of the ball becomes shorter and its velocity increases with increasing height. MATLAB Mobile simulations clearly visualize the theoretical and experimental relationships between height, travel time, and velocity. The %error values indicate deviations of 26.40% at a height of 10 cm (due to the dominance of friction at low incline angles) and 21.20% at a height of 50 cm (due to the precision limits of manual timing at high speeds), whereas heights of 20 cm, 30 cm, and 40 cm show ideal %error values below 6%. The findings demonstrate that the computational approach used has the potential to support the understanding of physics concepts, train digital literacy skills, and enable data analysis assisted by simple tools combined with MATLAB Mobile. Thus, this approach can serve as an innovative alternative to enhance the quality of science education in the digital era.

Keywords: *conservation of mechanical energy, inclined plane experiment, MATLAB Mobile, physics learning media, scientific computing*

1. PENDAHULUAN

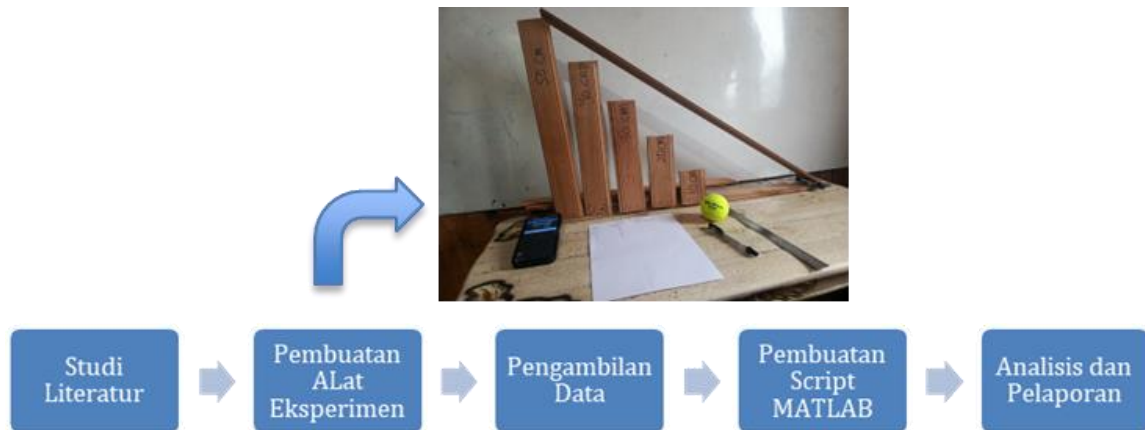
Pembelajaran fisika di sekolah maupun perguruan tinggi kerap kali menghadapi kendala mendasar ketika menjelaskan konsep-konsep abstrak, salah satunya adalah Hukum Kekekalan Energi Mekanik. Berbagai studi empiris dan hasil evaluasi pembelajaran menunjukkan bahwa siswa dan mahasiswa mengalami miskonsepsi yang cukup signifikan, seperti kesulitan menghubungkan perubahan energi potensial dan kinetik secara dinamis, mengabaikan disipasi

energi akibat gesekan, serta cenderung menghafal formula matematis secara prosedural tanpa memahami makna fisisnya (Desriani et al., 2023; Matialo et al., 2023b; Rambing et al., 2022). Oleh karena itu, diperlukan pendekatan yang tidak hanya menyajikan teori formal, melainkan juga memfasilitasi visualisasi fenomena dan analisis data riil secara ilmiah (Herwinarso et al., 2024; Prihatini et al., 2021). Di era transformasi digital pendidikan, pemanfaatan media komputasi menjadi sarana krusial untuk menjembatani keterbatasan eksperimen konvensional (Dewi & Jauhariyah, 2021; Mokodompit et al., 2026). Berbagai media digital telah diimplementasikan dalam pembelajaran fisika, seperti PhET Interactive Simulations (Arinais & Sudibyo, 2026), Tracker Video Analysis (Amiruddin, 2022), dan Augmented Reality (AR) (Panjaitan et al., 2026). Meskipun demikian, media-media tersebut memiliki keterbatasan spesifik. Simulasi PhET bersifat black-box dan pasif, di mana pengguna hanya bertindak sebagai pengamat parameter tanpa terpapar logika algoritma komputasi di balik simulasi tersebut (Rizaldi et al., 2020). Aplikasi Tracker mampu melacak gerak melalui analisis video, namun sangat bergantung pada kualitas rekaman, pencahayaan, dan perangkat lunak di komputer/laptop (Amiruddin, 2022).

Di sisi lain, penggunaan bahasa pemrograman umum seperti Python menawarkan fleksibilitas tinggi (Marcell et al., 2023; Maulida Surbakti et al., 2024), tetapi menuntut pemahaman sintaksis dan perpustakaan kode (libraries) yang kompleks sehingga berisiko mengalihkan fokus dari konsep fisika ke kendala teknis pemrograman (Ardhuha et al., 2021). Untuk mengatasi celah penelitian (research gap) tersebut, platform MATLAB Mobile menawarkan solusi komputasi aktif yang sangat responsif dan mudah diakses (Kamaruddin & Silangen, 2025; Widiastuti & Priantini, 2022). MATLAB Mobile memiliki keunggulan spesifik dalam pengolahan data fisika komputasi, antara lain: (1) portabilitas tinggi, karena dapat dijalankan secara langsung dari gawai/ponsel pintar tanpa memerlukan laboratorium komputer yang mahal; (2) kemudahan visualisasi data, dengan perintah grafik (plotting) bawaan yang mampu menyajikan kurva teoritis dan eksperimental secara langsung dalam satu tampilan visual; serta (3) fleksibilitas modifikasi script, di mana pengguna dapat secara aktif mengubah parameter variabel, memasukkan persamaan matematis fisika, dan mengamati dampaknya secara real-time. Berdasarkan latar belakang tersebut, penelitian ini bertujuan untuk merancang eksperimen gerak bidang miring berbasis alat sederhana dan mengembangkan simulasi komputasi menggunakan MATLAB Mobile guna menganalisis serta memvisualisasikan Hukum Kekekalan Energi Mekanik. Secara khusus, penelitian ini menguji kesesuaian antara data eksperimen dan prediksi teoritis melalui analisis parameter waktu tempuh, kecepatan, serta nilai persentase kesalahan (%error). Dengan demikian, penelitian ini menyajikan formulasi praktis integrasi komputasi mobile dalam pengolahan dan visualisasi data eksperimen fisika secara presisi dan interaktif.

2. METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif dengan jenis penelitian eksperimen laboratorium dan simulasi komputasi fisika. Fokus utama penelitian ini adalah merancang skema eksperimen gerak bidang miring berbasis alat sederhana, melakukan akuisisi data empiris, serta mengintegrasikannya dengan pemrograman script pada platform MATLAB Mobile untuk pemrosesan dan visualisasi data numerik. Penelitian ini tidak melibatkan subjek peserta didik maupun uji coba instrumen pembelajaran di kelas, melainkan berfokus pada validasi fisis dan komputasi dari Hukum Kekekalan Energi Mekanik. Penelitian dilaksanakan pada bulan Maret hingga Mei 2025 di lingkungan kampus Universitas Negeri Manado melalui kegiatan kelompok studi Jurusan Fisika FMIPAK Unima. Alat eksperimen dirancang dari bahan-bahan sederhana yang terdiri atas papan lintasan miring, balok penyangga ketinggian, mistar pengukur, bola kasti, *stopwatch*, serta gawai (*smartphone*) yang telah terpasang aplikasi MATLAB Mobile (diunduh melalui *Google Play Store*). Tahapan penelitian meliputi: (1) studi literatur, (2) perakitan alat eksperimen bidang miring, (3) pengambilan data waktu tempuh, (4) penyusunan script program pada MATLAB Mobile, serta (5) analisis dan visualisasi data. Perangkat dan tahapan eksperimen dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Tahapan Penelitian dan Perangkat Eksperimen Yang Digunakan

Gambar 1. menampilkan tahapan penelitian dan perangkat eksperimen yang digunakan seperti papan lintasan dengan penyangga ketinggian yang berbeda, mistar, bola kasti, stopwatch dan *MATLAB Mobile* yang terinstal pada *Handphone*. Dalam eksperimen ini, variabel yang diubah adalah ketinggian awal bola, yaitu 10, 20, 30, 40, dan 50 cm. Sementara itu, panjang lintasan papan dibuat tetap, yaitu 85 cm, dengan bola kasti dengan massa sebesar 75 gram. Variabel yang diukur adalah waktu tempuh bola, dan percobaan dilakukan sebanyak tiga kali untuk mendapatkan rata-rata waktu. Dari data tinggi, waktu, dan panjang lintasan, sudut kemiringan papan dihitung dengan menggunakan persamaan (1):

$$\theta = \arcsin \left(\frac{h}{S} \right) \quad (1)$$

dimana θ adalah sudut kemiringan ($^{\circ}$), h adalah ketinggian (cm), dan S adalah panjang lintasan (cm). Hasil yang ditampilkan berdasarkan kondisi/asumsi dimana gesekan dan rotasi diabaikan secara teoritis. Sementara itu dengan kecepatan teoritis pada persamaan (2) dan kecepatan eksperimen pada persamaan (3) juga dihitung.

$$v = \sqrt{2gh} \quad (2)$$

$$v_{exp} = \frac{2S}{t} \quad (3)$$

dimana g adalah percepatan gravitasi ($9,8 \text{ m/s}^2$), dan t adalah waktu yang dibutuhkan bola untuk sampai ke bawah dalam sekon. Persentase %error relatif energi mekanik dianalisis untuk menghitung persentase kesalahan sebagai tanda adanya energi yang hilang menggunakan persamaan 4.

$$\%Error = \left[\frac{V_{teori} - V_{eksperimen}}{V_{teori}} \right] \times 100\% \quad (4)$$

dimana V_{teori} adalah nilai kecepatan sebagai representasi energi kinetik secara teori yang dihitung menggunakan persamaan (2) dan $V_{eksperimen}$ adalah kecepatan sebagai representasi energi kinetik berdasarkan hasil eksperimen dihitung menggunakan persamaan (3). Persamaan kemudian dituangkan kedalam *Script* pada *MATLAB Mobile* untuk disimulasikan dan divisualisasikan dengan bantuan program *MATLAB* yang dijalankan melalui aplikasi *MATLAB Mobile* yang bisa diunduh di Play Store. Hasil dari simulasi dan eksperimen dibandingkan untuk melihat seberapa hubungan antara ketinggian dan waktu tempuh, kecepatan, dan perhitungan energi mekanik.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian yang dilakukan melalui kelompok belajar mahasiswa dalam suatu Proyek Studi Independen telah berhasil disusun dengan menyajikan hasil dari eksperimen dan simulasi gerak bola pada bidang miring yang dilakukan dengan bantuan *MATLAB Mobile*. Data yang diperoleh disertai analisis untuk mengkaji kesesuaian antara nilai teoritis dan eksperimen dalam konteks hukum kekekalan energi mekanik. Perangkat eksperimen dan aktivitas pengambilan data dari tim peneliti dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Aktivitas pengambilan data oleh peneliti

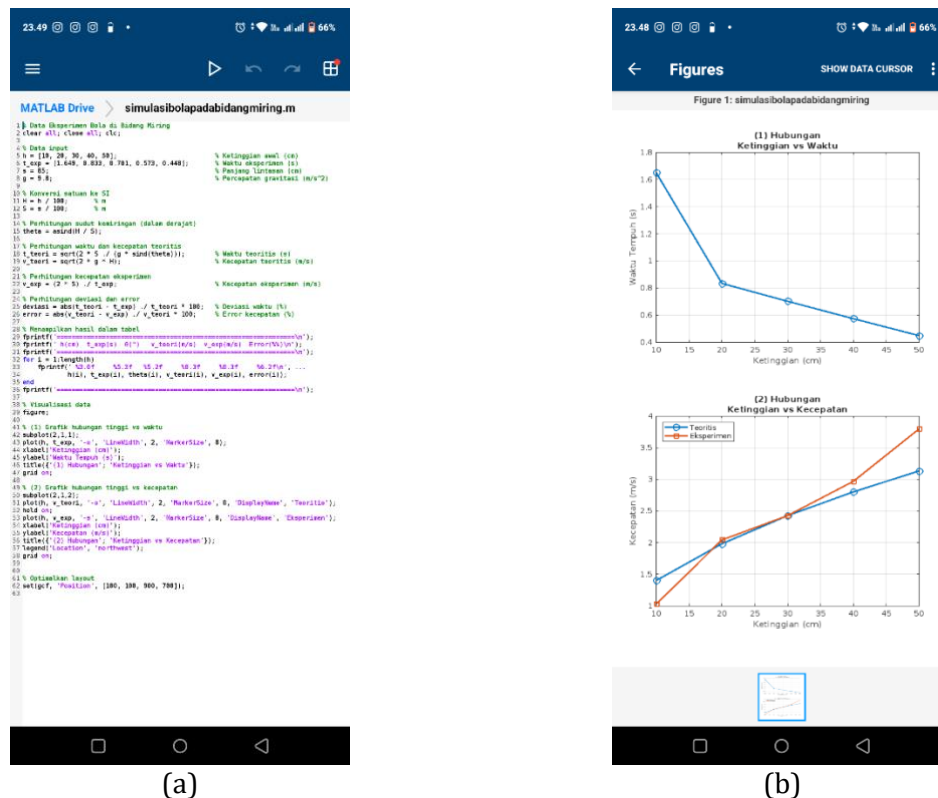
Gambar 2. memperlihatkan aktivitas pengambilan data yang dilakukan oleh peneliti saat percobaan berlangsung pada ketinggian 50 cm. Berdasarkan pengamatan yang dilakukan bola bergerak menyusuri lintasan papan miring yang dibuat. Secara teoritis hal ini menunjukkan konsep hukum kekekalan energi yang terjadi dapat diamati yaitu bola yang awalnya diam kemudian meluncur dipercepat hingga pada dasar bidang. Hasil ini sejalan dengan model simulasi yang telah dilaporkan oleh peneliti sebelumnya berbantuan simulasi untuk menggambarkan konsep hukum kekekalan energi dimana pada bidang miring benda meluncur mengalami perubahan energi potensial dan energi kinetik yang jumlahnya tetap (Fitrianingrum & Pawarangan, 2024; Rahmawati & Malik, 2024).

Tabel 1 menunjukkan data hasil pengukuran waktu tempuh bola untuk lima variasi ketinggian disertai hasil perhitungan sudut kemiringan dan waktu teoritis berdasarkan persamaan (1) - (4).

Tabel 1. Data pengamatan ketinggian dan waktu tempuh

h (cm)	θ (°)	t_exp (s)	v_exp (m/s)	v_teoris (m/s)	Error (%)
10	6.76°	1.649 ± 0.067	1.030	1.400	26.40
20	13.62°	0.833 ± 0.021	2.041	1.979	3.14
30	20.73°	0.701 ± 0.048	2.426	2.418	0.35
40	28.10°	0.573 ± 0.050	2.967	2.800	5.96
50	36.03°	0.448 ± 0.011	3.795	3.131	21.20

Sejalan dengan itu, berdasarkan data yang ditampilkan pada Tabel 1., selanjutnya data simulasi menggunakan MATLAB Mobile seperti ditampilkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Hasil Simulasi Menggunakan MATLAB Mobile (a) Tampilan Script (b) Hasil Analisis

Gambar 3(a) menampilkan Script program pada MATLAB Mobile. Script dapat dijalankan dengan menekan tombol run pada bagian atas tampak seperti segitiga yang mengarah kekanan untuk melihat hasil simulasinya. Sementara itu, pada Gambar 3(b) menunjukkan hasil visualisasi dari simulasi numerik yang dijalankan. Pada Gambar 3(b-1) grafik hubungan ketinggian dengan waktu tempuh menunjukkan bahwa waktu tempuh bola menurun secara signifikan seiring bertambahnya ketinggian awal. Penurunan ini menggambarkan hubungan eksponensial negatif, yang sesuai dengan konsep bahwa semakin tinggi posisi awal, semakin besar energi potensial yang dikonversi menjadi energi kinetik, sehingga bola mencapai kecepatan lebih tinggi dan waktu tempuhnya lebih singkat (Fitrianiingrum & Pawarangan, 2024).

Gambar 3(b-2) grafik hubungan ketinggian dengan kecepatan memperlihatkan hubungan antara ketinggian awal dan kecepatan bola, baik secara teoritis maupun eksperimen yang merepresentasi perubahan energi mekanik. Kecepatan meningkat seiring bertambahnya ketinggian, namun hasil eksperimen menunjukkan nilai yang sedikit lebih rendah dari nilai teoritis karena mengabaikan faktor lain seperti gesekan dan rotasi. Namun, pola pertambahan kecepatan mengikuti kurva akar kuadrat ($v \propto \sqrt{h}$), konsisten dengan hukum konservasi energi seperti penelitian yang telah dilaporkan sebelumnya (Fitrianiingrum & Pawarangan, 2024; Rahmawati & Malik, 2024). Selisih antara garis teoritis dan eksperimen mengindikasikan adanya pengaruh gesekan atau hambatan lain dalam percobaan nyata atau bahkan kesalahan dalam pengukuran yang dikonfirmasi berdasarkan nilai %error yang ditampilkan pada Tabel 1. Terlihat bahwa error meningkat pada ketinggian 10 cm sebesar 26.40%, sementara pada ketinggian 50 cm persentase kesalahan sebesar 21.20%. Peningkatan error ini kemungkinan disebabkan oleh pengaruh gaya gesek, ketidaksempurnaan alat yang mungkin disebabkan oleh faktor bola meluncur terlalu cepat sehingga sulit diukur dengan kemampuan peneliti atau deviasi dari asumsi teori ideal seperti permukaan licin dan bola sempurna. Nilai ini menekankan pentingnya mempertimbangkan faktor-faktor praktis dalam eksperimen fisika.

Sementara itu untuk pengukuran pada ketinggian 20, 30, dan 40 cm diperoleh nilai yang cukup ideal karena memiliki %error dibawah 6%. Eksperimen berbasis bahan sederhana (seperti papan dan bola) yang dikombinasikan dengan MATLAB Mobile membuktikan bahwa pengolahan

dan visualisasi data fisika dapat dilakukan secara praktis, ekonomis, dan relevan dengan era digital. Dengan demikian, penelitian ini tidak hanya memvalidasi hukum fisika secara eksperimental dan komputasi, tetapi juga menawarkan pendekatan eksplorasi sains yang interaktif, menjembatani teori dengan praktik melalui integrasi teknologi komputasi. Pendekatan seperti ini sejalan dengan upaya pengembangan media komputasi fisika yang berpotensi mendukung pemahaman konsep dan keterampilan berpikir analitis pada materi energi mekanik (Matialo et al., 2023b; Raming et al., 2022).

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil eksperimen dan simulasi komputasi yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa (1) Platform MATLAB Mobile terbukti dapat digunakan sebagai sarana komputasi yang andal untuk mengolah, menganalisis, serta memvisualisasikan data fisis Hukum Kekekalan Energi Mekanik secara dinamis dan interaktif melalui grafik hubungan ketinggian terhadap waktu tempuh dan kecepatan. (2) Hasil eksperimen menunjukkan kesesuaian tren dengan prediksi teoritis, di mana peningkatan ketinggian awal menyebabkan waktu tempuh bola semakin singkat dan kecepatannya meningkat. Nilai persentase kesalahan (%error) berada pada kategori ideal (di bawah 6%) pada ketinggian 20cm, 30cm, dan 40cm. Penyimpangan (%error) yang lebih tinggi pada ketinggian 10cm (26,4%) dan 50 cm (21,20%) disebabkan oleh faktor disipasi energi akibat gaya gesek pada sudut yang landai serta keterbatasan presisi pengukuran stopwatch manual pada gerak bola berkecepatan tinggi. Untuk pengembangan penelitian selanjutnya, disarankan untuk melakukan penelitian lanjutan berbasis eksperimen kuasi atau penelitian tindakan kelas di sekolah/ perguruan tinggi untuk mengukur secara empiris dampak penggunaan media ini terhadap hasil belajar, pemahaman konsep, keterampilan literasi digital, serta respons siswa. Serta mengevaluasi peningkatan akurasi presisi alat yang dikembangkan.

5. DAFTAR PUSTAKA

- Amiruddin, M. Z. B. (2022). Eksplorasi Konsep Fisika Pada Permainan Lempar Bola Secara Vertikal Dengan Bantuan Aplikasi Tracker. *Jurnal Pendidikan Dan Pembelajaran Sains Indonesia (Jppsi)*, 5(1), 60–67. <https://doi.org/10.23887/jppsi.v5i1.45707>
- Ardhuha, J., I Wayan Sudiarta, Lalu Rudyat Telly Savalas, Ap'aluddin, Thufail Mujaddid Al-Qoyim, Putri Julia Maemum, Mega Safana, Ahmad Fadli, Nurjamilah, Muhamad Hendri Diarta, Chorina Ika Ristanti, Nanda Nabila Maharani, Siti Nurkhaliza, & Ulfa Dwiyaniti. (2021). Pelatihan Bahasa Pemrograman Python Berbasis Modul Sympy Untuk Memvisualisasi Konsep Fisika Matematika Bagi Mahasiswa Calon Guru. *Jurnal Pengabdian Magister Pendidikan IPA*, 4(4), 466–473. <https://doi.org/10.29303/jpmipi.v4i4.1238>
- Arinais, F., & Sudibyo, E. (2026). Penerapan Inkuiri Terstruktur Berbantuan PhET Untuk Meningkatkan Kemampuan Kognitif Murid Pada Materi Hukum Newton. *Charm Sains Jurnal Pendidikan Fisika*, 7(1), 18–25.
- Desriani, G., Rasmi, D. P., & Hendri, M. (2023). Analisis Kebutuhan Mahasiswa Pendidikan Fisika Pada Mata Kuliah Metode Eksperimen Fisika Universitas Jambi. *Jurnal Pendidikan Mipa*, 13(1), 230–234. <https://doi.org/10.37630/jpm.v13i1.866>
- Dewi, I. S., & Jauhariyah, M. N. R. (2021). Analisis Bibliometrik Implementasi Pembelajaran Fisika Berbasis STEM Pada Tahun 2011-2021. *Jurnal Ilmiah Pendidikan Fisika*, 5(3), 368. <https://doi.org/10.20527/jipf.v5i3.3904>
- Fitrianingrum, A. M., & Pawarangan, I. (2024). Identifikasi Konsep Fisika pada Bidang Miring Berbantuan Aplikasi Algodoo. *Jurnal FisTa: Fisika Dan Terapannya*, 5(1), 38–44. <https://doi.org/10.53682/fista.v5i1.351>
- Herwinarso, Pratidhina, E., Koswojo, J., Wijaya, A., Lestari, T., & Untung, B. (2024). Pendampingan Praktikum Fisika Berbantuan Mikrokontroler Arduino Bagi Peserta Didik Sekolah Menengah Atas Swasta Di Surabaya. *Mejuajua Jurnal Pengabdian Pada Masyarakat*, 4(1), 10–15. <https://doi.org/10.52622/mejuajuaabdinas.v4i1.135>
- Kamaruddin, K., & Silangen, P. M. (2025). *Buku Ajar: PjBL Fisika Komputasi*. Tahta Media Group.
- Marcell, R. P., Fernando, B., Andika, R. P., Patrick, A. N., Josh, B. F., Tria, F. T., & Rahmi, Y. N. (2023). Penggunaan Bahasa Pemrograman Python untuk Menganalisis Perubahan Iklim yang

- Diakibatkan oleh Pemanasan Global. *Media Informatika*, 22(3), 160–170.
- Matialo, I., Marianus, & Umboh, S. I. (2023a). Efektivitas Penggunaan Model Pembelajaran Reciprocal Terhadap Kemampuan Berpikir Kritis dan Hasil Belajar Siswa Pada Materi Energi Mekanik. *Charm Sains Jurnal Pendidikan Fisika Unima*, 4(1), 84–90.
- Matialo, I., Marianus, & Umboh, S. I. (2023b). Efektivitas Penggunaan Model Pembelajaran Reciprocal Terhadap Kemampuan Berpikir Kritis Dan Hasil Belajar Siswa Pada Materi Energi Mekanik. *Charm Sains: Jurnal Pendidikan Fisika*, 4(2), 84–90. <https://doi.org/10.53682/charmsains.v4i2.252>
- Maulida Surbakti, N., Talia, A., Br Perangin-Angin, C., Olivia Nainggolan, D., Devi Friskauly, N., & Ruth Br Tumorang, S. (2024). Penggunaan Bahasa Pemrograman Python dalam Pembelajaran Kalkulus Fungsi Dua Variabel. *Kebumihan Dan Angkasa*, 2(3), 98–107.
- Mokodompit, D. Y., Tumangkeng, J. V., Umboh, S. I., Palilingan, R. N., & Pawarangan, I. (2026). Perbandingan Efektivitas Laboratorium Virtual dan Alat Praktikum Dalam Meningkatkan Pemahaman Konsep Gerbang Logika. *Charm Sains Jurnal Pendidikan Fisika*, 7(1), 81–88.
- Panjaitan, B., Dabukke, H., & Alasi, T. S. (2026). Pengembangan Media Pembelajaran Fisika Berbasis Augmented Reality (AR) Pada Materi Radiasi Elektromagnetik. *Charm Sains Jurnal Pendidikan Fisika*, 7(1), 34–44.
- Prihatini, S., Choerunisa, D. A., Nurazizah, E., Chusni, M. M., & Treswiana, Y. (2021). Profil Penalaran Ilmiah Peserta Didik Melalui Virtual Lab Berbasis Simulasi PhET Pada Materi Elastisitas Selama Ptm Terbatas. *Al-Tarbiyah Jurnal Pendidikan (The Educational Journal)*, 31(2), 122–130. <https://doi.org/10.24235/ath.v31i2.9283>
- Rahmawati, D., & Malik, A. (2024). Analisis Pengaruh Ketinggian Lintasan Terhadap Gaya Gesek dan Kecepatan Benda Pada Bidang Miring Menggunakan PhET Simulation. *Jurnal Penelitian Dan Pembelajaran Fisika Indonesia*, 6(1). <https://doi.org/10.29303/jppfi.v6i1.255>
- Rambling, S. N., Makahinda, T., & Mandolang, A. H. (2022). Penerapan Model Pembelajaran Project Based Learning dengan Pendekatan Demonstrasi Materi Energi Mekanik. *Charm Sains: Jurnal Pendidikan Fisika*, 3(2), 119–123. <https://doi.org/10.53682/charmsains.v3i2.202>
- Rizaldi, D. R., Jufri, A. W., & Jamaluddin, J. (2020). PhET: Simulasi Interaktif Dalam Proses Pembelajaran Fisika. *Jurnal Ilmiah Profesi Pendidikan*, 5(1), 10–14. <https://doi.org/10.29303/jipp.v5i1.103>
- Widiastuti, N. L. G. K., & Priantini, D. A. M. M. O. (2022). Lembar Kerja Peserta Didik Berbasis Kontekstual Pada Muatan Pelajaran IPA. *Jurnal Ilmiah Pendidikan Profesi Guru*, 5(1), 147–160. <https://doi.org/10.23887/jippg.v5i1.45530>