



Rancang Bangun Peraga Usaha Pada Bidang Miring Berbasis Arduino Sebagai Alternatif Alat Percobaan Dalam Pembelajaran Fisika

Singgih Priyanto ✉, Yusro Al Hakim, Eko Setyadi Kurniawan

Universitas Muhammadiyah Purworejo

Jl. K.H.A. Dahlan 3 Purworejo, Jawa Tengah, 54111, Indonesia

| singgihpriyanto@gmail.com ✉ | DOI : <https://doi.org/10.37729/jips.v5i2.1424> |

Article Info

Submitted

02/09/2023

Revised

18/09/2024

Accepted

11/10/2024

Abstrak - Kegiatan eksperimen di sekolah pada umumnya dirancang secara khusus agar siswa dapat melakukan eksperimen, kemampuan memecahkan masalah dengan pendekatan ilmiah. Tujuan dalam penelitian ini menghasilkan produk alat peraga Usaha pada bidang miring berbantuan Arduino yang berfungsi dan memiliki akurasi baik. Metode penelitian adalah eksperimen berupa perancangan alat peraga Usaha pada bidang miring dan uji coba alat dilaksanakan di laboratorium guna membuktikan besaran Usaha pada bidang miring. Adapun analisis data menggunakan nilai terbaik dan nilai ketidakpastiannya. Hasil penelitian menunjukkan bahwa alat peraga yang dirancang dapat berfungsi dengan baik, dapat mengukur dan menentukan nilai Usaha suatu benda pada bidang dengan kemiringan 30 derajat, 45 derajat, dan 60 derajat yang sesuai dengan hasil percobaan dan perhitungan secara manual meskipun terdapat selisih hasil ukur namun dalam batas ralat. Alat peraga Usaha bidang miring dapat dimanfaatkan sebagai salah satu alternatif peraga dalam pembelajaran fisika materi Usaha dan Energi.

Kata kunci: *Alat peraga, Bidang miring, Arduino, Percobaan fisika*

Abstract - *Experimental activities in schools are generally designed specifically so that students can conduct experiments, problem-solving skills with a scientific approach scientific approach. The purpose of this research is to produce a product of Work teaching aid on an inclined plane assisted by Arduino that functions and has good accuracy. The research method is an experiment in the form of designing a teaching aid for Work materials on an inclined plane and testing the tools carried out in the laboratory to prove and the amount of Work on an inclined plane. The data analysis uses the average value and the uncertainty value. The results showed that the teaching aid are designed can function properly, can measure and determine the value of the Work an object on a inclined plane with a slope of 30 degrees, 45 degrees, and 60 degrees which is in accordance with the results of experiments and manual calculations even though there are difference in measurement results but within the error limit. The Work teaching aid inclined plane can be utilized as one of the alternative teaching aids in learning physics material Work and Energy.*



Keywords: *Teaching aid, Inclined plane, Arduino, Physics experiment*

1. Pendahuluan

Kegiatan pembelajaran mata pelajaran IPA khususnya fisika sangat penting diberikan kepada siswa guna memahami tentang fenomena alam dengan segala dinamikanya. Melalui pembelajaran fisika siswa dapat memahami tentang gejala-gejala alam secara empiris maupun secara kontekstual. Pemahaman yang mendalam tentang konsep dan analisis merupakan hal mendasar dan penting dalam pembelajaran fisika.

Permasalahan dalam pembelajaran materi usaha dan energi di sekolah sering kali menjadi tantangan bagi siswa maupun guru. Meskipun bagi sebagian siswa materi ini mudah, namun bagi sebagian siswa yang lain materi ini dianggap sulit karena mencakup konsep-konsep fisika yang bersifat abstrak, seperti hubungan antara gaya dan perpindahan, hukum kekekalan energi, serta penerapan usaha dan energi dalam kehidupan sehari-hari. Kesulitan pertama yang sering dihadapi siswa adalah kurangnya pemahaman terhadap konsep dasar fisika, terutama jika belum memiliki dasar matematika yang kuat, memerlukan pemahaman tentang perkalian vektor, fungsi trigonometri, dan persamaan kuadrat. Jika siswa kurang menguasai konsep-konsep dasar ini, akan mengalami kendala dalam menerapkan persamaan secara benar dan memahami maknanya secara konseptual [1], [2]. Selain itu, metode pembelajaran yang masih bersifat teoritis menjadi kendala dalam memahami materi usaha dan energi. Sebagian guru cenderung menerapkan metode ceramah tanpa diimbangi dengan eksperimen atau simulasi yang memadai [3], [4]. Hal ini menyebabkan siswa kesulitan dalam menghubungkan teori dengan fenomena nyata [5]. Konsep usaha dan energi dapat lebih mudah dipahami jika siswa melihat langsung bagaimana energi berubah bentuk dalam berbagai peristiwa, seperti bola yang jatuh dari ketinggian, penggunaan katrol, atau tumbukan benda. Minimnya fasilitas laboratorium di beberapa sekolah juga turut menjadi kendala dalam pembelajaran, sebab tanpa alat peraga yang cukup, siswa hanya bisa membayangkan konsep-konsep fisika tersebut tanpa benar-benar mengalaminya dalam eksperimen langsung [3], [6].

Selain faktor metode pembelajaran, minat dan motivasi siswa juga menjadi tantangan dalam memahami materi usaha dan energi. Kurangnya keterlibatan aktif siswa dalam proses pembelajaran membuat siswa cepat merasa bosan dan kurang tertarik untuk mendalami materi lebih lanjut. Hal ini diperparah dengan kurangnya penerapan teknologi dalam pembelajaran. Seharusnya, penggunaan media interaktif seperti animasi, simulasi komputer, alat peraga, atau video eksperimen dapat membantu siswa memahami bagaimana energi bekerja dalam kehidupan sehari-hari [7], [8]. Selanjutnya, beban kurikulum yang padat juga menjadi faktor yang menghambat pemahaman siswa terhadap materi usaha dan energi. Dalam waktu yang relatif singkat, guru harus menyampaikan banyak konsep dalam satu bab tanpa cukup waktu untuk memperdalam atau merevisi pemahaman siswa. Hal ini menyebabkan pembelajaran menjadi terburu-buru, sehingga siswa tidak memiliki waktu yang cukup untuk benar-benar memahami materi sebelum berpindah ke topik berikutnya. Kurangnya sesi diskusi atau latihan soal yang cukup juga membuat siswa kesulitan dalam menerapkan konsep yang telah dipelajari [9].

Untuk mengatasi permasalahan ini, perlu adanya inovasi dalam metode pengajaran, seperti pendekatan berbasis eksperimen, pembelajaran berbasis proyek, atau penggunaan teknologi interaktif dalam kelas. Guru juga perlu memberikan contoh-contoh aplikasi nyata dari konsep usaha dan energi agar siswa dapat melihat relevansinya dalam kehidupan sehari-hari. Selain itu, kolaborasi antara guru, sekolah, dan orang tua juga penting untuk mendukung pemahaman siswa, misalnya dengan memberikan sumber belajar tambahan dan alat peraga yang mendukung pembelajaran. Dengan peraga sederhana yang dipadukan dengan Arduino diharapkan pembelajaran lebih kreatif dan interaktif sehingga siswa dapat memahami materi usaha dan energi dengan lebih baik dan memiliki minat yang lebih besar terhadap fisika.

Teknologi Arduino, sebagai platform elektronik terbuka, menawarkan solusi yang inovatif untuk mengembangkan alat peraga yang interaktif dan terjangkau. Arduino memungkinkan pengembangan berbagai proyek berbasis mikrokontroler yang dapat dikendalikan dan diatur dengan mudah. Penelitian ini bertujuan untuk merancang alat peraga untuk materi usaha dan energi berbasis Arduino yang dapat digunakan sebagai media pembelajaran interaktif di kelas. Dengan alat peraga ini, siswa dapat melakukan eksperimen langsung dan mengukur data secara *real-time*, sehingga diharapkan dapat meningkatkan pemahaman tentang konsep usaha dan energi. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi signifikan dalam pengembangan media pembelajaran yang inovatif dan efektif, serta memberikan pengalaman belajar yang lebih menyenangkan dan bermakna bagi siswa.

2. Metode

Metode perancangan alat peraga usaha dan energi berbasis Arduino untuk materi Usaha dan Energi dimulai dengan tahap identifikasi kebutuhan dan tujuan pembelajaran. Pada tahap ini, dilakukan analisis untuk menentukan konsep Usaha dan Energi yang akan dijelaskan melalui alat peraga. Selanjutnya, dilakukan perancangan sistem yang mencakup penentuan komponen-komponen yang dibutuhkan, seperti sensor, aktuator, dan mikrokontroler Arduino. Rangkaian elektronik dirancang untuk memastikan bahwa semua komponen dapat berfungsi dengan baik dan terhubung dengan Arduino. Setelah itu, dilakukan pengembangan perangkat lunak dengan menggunakan bahasa pemrograman Arduino untuk mengendalikan komponen dan mengolah data yang diperoleh dari sensor. Perangkat lunak ini juga harus dapat menampilkan hasil pengukuran dan visualisasi yang jelas kepada pengguna.

Tahap berikutnya adalah pembuatan prototipe alat peraga. Prototipe ini diuji untuk memastikan bahwa alat peraga bekerja sesuai dengan yang diharapkan dan dapat memberikan visualisasi yang akurat mengenai konsep usaha dan energi. Jika diperlukan, dilakukan modifikasi dan perbaikan pada desain dan perangkat lunak untuk meningkatkan kinerja alat peraga. Setelah prototipe berfungsi dengan baik, dilakukan uji coba penggunaan alat peraga dalam situasi pembelajaran nyata. Uji coba ini melibatkan siswa dan guru untuk mengumpulkan masukan mengenai efektivitas alat peraga dalam membantu pemahaman konsep usaha dan energi.

Tahap terakhir adalah evaluasi dan penyempurnaan alat peraga berdasarkan hasil uji coba. Evaluasi meliputi penilaian terhadap kemudahan penggunaan, kejelasan visualisasi, dan kontribusi alat peraga terhadap pemahaman konsep. Berdasarkan masukan yang diperoleh, dilakukan penyempurnaan untuk memastikan bahwa alat peraga siap digunakan secara luas dalam pembelajaran. Dengan metode perancangan yang sistematis ini, diharapkan alat peraga usaha dan energi berbasis Arduino dapat menjadi media pembelajaran yang efektif dan inovatif.

3. Hasil dan Pembahasan

Penelitian perancangan alat peraga Usaha berbantuan Arduino ini dilakukan dengan mengadaptasi model *Research and Development* (R&D) yang diawali dengan studi pendahuluan dan tahap uji terbatas baik uji alat maupun uji keterbacaan alat. Hasil dari perancangan alat peraga materi Usaha berbasis Arduino dapat mengukur besaran fisika seperti gaya, perpindahan, dan usaha secara *real-time*, baik secara manual maupun elektronik yang kemudian ditampilkan pada layar LCD atau diintegrasikan dengan perangkat lunak komputer untuk analisis lebih lanjut. Dalam pengujian yang dilakukan, alat ini dapat bekerja dengan baik dalam mengukur dan menampilkan data sesuai dengan prinsip usaha dan energi. Sensor yang digunakan, seperti sensor gaya (*load cell*) dan sensor ultrasonik untuk mengukur perpindahan, berhasil mengumpulkan data dengan akurasi yang cukup baik, sehingga siswa dapat langsung mengamati hubungan antara usaha dan perubahan energi dalam suatu sistem mekanik.

Uji coba yang dilakukan pada tahap ini adalah uji coba alat peraga untuk mengetahui fungsi kerja alat dan data yang dapat dihasilkan. Dalam penelitian ini dilakukan analisis data hasil percobaan dengan membandingkan data yang diperoleh sistem Arduino pada sensor dengan data percobaan secara manual. Adapun alat peraga Usaha berbasis Arduino ini memiliki mekanisme kerja saat gancu yang dikaitkan dengan sensor *load cell* diberi beban maka akan terjadi perubahan jarak yang diukur oleh sensor ultrasonik. Adapun data percobaan dilakukan menggunakan uji sensor pertama dan uji sensor kedua yang dibandingkan dengan data percobaan manual sebagaimana disajikan pada [Tabel 2](#). Alat peraga usaha yang dirancang ini dapat menunjukkan besaran Usaha sebagaimana persamaan $W = F \cdot \cos \alpha \cdot s$ dimana W adalah usaha yang dinyatakan dalam joule, F adalah gaya dalam newton, dan s adalah perpindahan dalam meter. Adapun data uji alat peraga Usaha dapat disajikan pada [Tabel 1](#).

Tabel 1. Data Ujicoba Alat Peraga Usaha

Sudut	Usaha			
	F (N)	S (m)	W_{manual} (J)	W_{sensor} (J)
30°	0,5	0,15	0,065 ± 0,02	0,066 ± 0,02
45°	0,5	0,26	0,092 ± 0,03	0,082 ± 0,02
60°	0,5	0,35	0,088 ± 0,02	0,086 ± 0,02

Uji coba alat peraga untuk membandingkan data hasil percobaan Usaha menggunakan bidang miring dilakukan 5 kali pengukuran berulang baik menggunakan *load cell* maupun manual, adapun data hasil uji coba alat menggunakan sensor kedua yaitu menggunakan sensor ultrasonik dan sebagai pembandingnya digunakan pengambilan data secara manual seperti disajikan pada Tabel 1. Berdasarkan data yang diperoleh dari percobaan alat peraga menggunakan sensor *load cell* diperoleh rerata hasil percobaan untuk masing-masing sudut kemiringan alat peraga yaitu 30°, 45°, dan 60°. Pada data percobaan akurasi alat peraga Usaha menggunakan *load cell* dan manual pada sudut 30° sensor *load cell* lebih teliti dibandingkan dengan data kasar yang diperoleh secara manual, hal ini ditunjukkan pada data rerata percobaan diperoleh 9.98×10^{-2} m, sementara pengukuran secara manual diperoleh rerata 10.00×10^{-2} m. Demikian pula untuk sudut 45° diperoleh rerata yang mendekati nilai manual hanya terpaut 0,02, sedangkan pada sudut 60° hasil pengukuran relatif kecil dibanding sudut-sudut sebelumnya berkisar 2.50 dengan persentase ralat sebesar 0,8%.

Data percobaan akurasi alat peraga juga dilakukan dengan menguji sensor ultrasonik, berdasarkan data yang telah disajikan pada Tabel 2, diperoleh enam data hasil pengukuran untuk tiga sudut yang sama dan terlihat bahwa terdapat selisih yang cukup signifikan namun masih relatif dalam batas yang kecil. Sebagai contoh pada sudut 60°, data pengamatan untuk 5 kali pengukuran diperoleh rerata 29.9 menggunakan sensor ultrasonik sedangkan rerata pengukuran secara manual 29.8 pada batas persentase ralat sebesar 0.66%. Apabila ditilik untuk sudut-sudut yang lain maka nampak bahwa data menggunakan sensor maupun data yang diperoleh menggunakan metode manual tidak memiliki selisih yang jauh hanya berkisar 0.02; hal ini mengindikasikan bahwa alat peraga Usaha memiliki faktor akurasi yang baik. Setelah memperoleh data percobaan hasil akurasi alat peraga maka dilakukan ujicoba alat untuk mengetahui besaran Usaha sebagai tujuan dalam penelitian perancangan ini. Data pada menunjukkan bahwa untuk besar gaya yang sama yaitu 0.50 newton mengalami perpindahan yang bervariasi karena sudut kemiringan yang dimiliki. Adapun hasil percobaan Usaha untuk manual dan menggunakan sensor sesuai dengan perhitungan teoretis, namun pada alat berbantuan sensor terdapat selisih dalam batas ralat.

Tabel 2. Data Percobaan Akurasi Alat Peraga Usaha Menggunakan *Load Cell*, Sensor Ultrasonik, dan Manual

θ	Data Percobaan	Pengukuran ke- ($\times 10^{-2}$ m)					Rerata	Kesalahan (%)
		1	2	3	4	5		
30°	<i>Load cell</i>	9.97	9.99	9.98	9.99	9.98	9.98	1.8
	Manual	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	
45°	<i>Load cell</i>	4.98	4.99	4.98	4.97	4.99	4.98	0.4
	Manual	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	
60°	<i>Load cell</i>	2.47	2.48	2.47	2.49	2.48	2.48	0.8
	Manual	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	

θ	Data Percobaan	Pengukuran ke- ($\times 10^{-2}$ m)					Rerata	Kesalahan (%)
		1	2	3	4	5		
30°	Ultrasonic	24.5	24.0	24.1	24.0	24.1	24.1	0,41
	Manual	24.2	24.2	24.2	24.2	24.2	24.2	
45°	Ultrasonic	26.0	26.2	26.1	26.0	26.1	26.1	0,38
	Manual	26.2	26.2	26.2	26.2	26.2	26.2	
60°	Ultrasonic	30.0	29.3	30.1	29.7	29.8	29.8	0,66
	Manual	30.0	30.0	30.0	30.0	30.0	30.0	

Guna mengetahui adanya hubungan antara gaya (F) terhadap perpindahan (s) maka dilakukan uji kesebandingan antara kedua besaran tersebut menggunakan metode manual dengan pengamatan biasa menggunakan alat ukur biasa, dibandingkan dengan menggunakan sensor *load cell* maupun ultrasonik. Data hasil percobaan merupakan data yang diperoleh melalui serangkaian pengambilan data pada bidang dengan kemiringan 30° , 45° , dan 60° , yang mengacu pada persamaan Usaha pada bidang miring yaitu $W = F \cdot s \cos \theta$, sehingga sudut mendatar atau 0° tidak turut dihitung dalam percobaan ini. Massa benda yang digunakan dalam percobaan ini yaitu berupa balok aluminium dengan massa 0.05 kg; sementara itu untuk mengetahui gaya yang bekerja pada balok yang diletakkan pada bidang miring tersebut menggunakan dinamometer sehingga gaya yang diperoleh F seragam sebesar 0.5 newton. Percobaan dilakukan berulang sebanyak 5 kali sehingga diperoleh nilai W_{rerata} dengan perhitungan ralat sebagaimana disajikan pada Tabel 1. Berdasarkan data percobaan akurasi alat dan penentuan Usaha ini maka alat peraga yang dirancang dapat berfungsi dengan baik dan menunjukkan hasil yang selaras dengan perhitungan menggunakan persamaan usaha pada bidang miring. Kajian percobaan dengan bidang miring dilakukan oleh [10] namun untuk menentukan koefisien gesek, yang sejatinya dapat pula digunakan untuk melakukan percobaan Usaha. Senada dengan hal tersebut, [11] mengungkapkan bahwa terdapat kebutuhan alat peraga bidang miring di sekolah untuk berbagai kegiatan praktikum di sekolah terutama berbantuan Arduino..

Alat peraga yang dirancang telah menunjukkan bahwa integrasi Arduino dalam pembelajaran Usaha memungkinkan siswa untuk melakukan eksperimen secara langsung dan melihat bagaimana Usaha yang diberikan pada suatu benda dapat diukur dan dikonversi menjadi penentuan besaran energi. Hal ini diharapkan dapat membantu siswa memahami konsep fisika secara lebih mendalam dibandingkan hanya melalui teori atau perhitungan. Alat yang dirancang dapat menghasilkan data percobaan yang dapat dianalisis lebih lanjut, sehingga siswa tidak hanya memahami konsep secara kualitatif tetapi juga dapat melakukan analisis berbasis data. Dengan demikian siswa dapat mengembangkan keterampilan berpikir kritis dan pemecahan masalah yang lebih baik [12]. Namun, terdapat beberapa tantangan dalam implementasi alat ini di lingkungan sekolah. Salah satu kendala utama adalah ketersediaan komponen elektronik dan pemahaman guru dalam menggunakan serta mengajarkan teknologi berbasis Arduino. Tidak semua sekolah memiliki fasilitas laboratorium yang memadai, dan tidak semua guru memiliki latar belakang dalam pemrograman atau elektronika. Oleh karena itu, diperlukan pelatihan bagi guru agar dapat memanfaatkan alat ini secara optimal dalam pembelajaran. Selain itu, biaya pengadaan alat juga menjadi faktor yang perlu dipertimbangkan, meskipun Arduino sendiri relatif terjangkau dibandingkan dengan peralatan laboratorium fisika konvensional [13], [14].

Secara keseluruhan perancangan alat peraga Usaha berbasis Arduino memberikan dampak positif dalam pembelajaran fisika, terutama dalam meningkatkan interaktivitas dan pemahaman siswa terhadap konsep usaha dan energi. Penggunaan alat ini memungkinkan eksperimen dilakukan secara lebih sistematis dan berbasis data, yang membantu siswa menghubungkan teori dengan fenomena nyata. Dengan pengembangan lebih lanjut, alat ini dapat menjadi solusi inovatif dalam pembelajaran fisika di sekolah, terutama jika didukung dengan pelatihan guru dan penyediaan fasilitas yang memadai.

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian perancangan alat peraga Usaha menggunakan bidang miring berbantuan Arduino ini menunjukkan bahwa alat peraga yang dirancang dapat berfungsi dengan baik ditinjau dari akurasi hasil ukur alat maupun penentuan Usaha pada bidang miring menggunakan alat hasil rancangan berbantuan sensor *load cell* dan ultrasonik untuk kemudian dibandingkan dengan hasil percobaan dan perhitungan secara manual. Secara umum alat telah menunjukkan data yang akurat, namun jika dibandingkan dengan hasil manual masih terdapat selisih akhirnya meskipun masih di dalam batas ralat. Perlu dilakukan pengembangan lebih lanjut agar alat yang dirancang lebih valid, praktis, dan efektif digunakan dalam pembelajaran fisika di sekolah terutama untuk materi Usaha.

Daftar Pustaka

- [1] S. Nurjanah dan S. Sunarto, "Analisis Kesulitan dalam Menyelesaikan Soal-Soal Fisika Materi Usaha dan Energi Siswa Kelas X SMK Taman Karya Jetis Yogyakarta," *COMPTON J. Ilm. Pendidik. Fis.*, vol. 5, no. 2, 2018.
- [2] N. D. S. Pratama, A. Suyudi, H. Sakdiyah, dan F. Bahar, "Analisis kesulitan siswa dalam memecahan masalah fisika materi usaha dan energi," *J. Ris. Pendidik. Fis.*, vol. 2, no. 2, hlm. 82–88, 2017.
- [3] N. Huda, H. Hikmawati, dan K. Kosim, "Pengaruh Pendekatan Kontekstual Berbantuan Alat Peraga Terhadap Penguasaan Konsep dan Kemampuan Pemecahan Masalah Fisika," *J. Pijar Mipa*, vol. 14, no. 1, hlm. 62–72, 2019.
- [4] N. Huda dan J. Ikhsan, *Mengganggu Metode Ceramah Dalam Pendidikan: Meluruskan Fitnah Mengusulkan Paradigma Baru*. Jejak Publisher, 2024.
- [5] A. Alamsyah, J. Mansyur, dan A. Kade, "Analisis kesulitan siswa dalam memecahkan soal fisika SMP pada materi usaha dan energi," *JPFT J. Pendidik. Fis. Tadulako Online*, vol. 6, no. 1, hlm. 40–43, 2019.
- [6] E. S. Kurniawan dan N. Ngazizah, "IbM Peningkatan Keterampilan Guru SD Muhammadiyah Se Kabupaten Purworjeo Dalam Pengelolaan Laboratorium dan Pengembangan Alat Peraga IPA Terbarukan," *Surya Abdimas*, vol. 1, no. 1, hlm. 1–5, 2017.
- [7] S. M. N. Afifah, A. Pratama, A. Setyaningrum, dan R. M. Mughni, *Inovasi media pembelajaran untuk mata pelajaran ipas*. Cahya Ghani Recovery, 2023.
- [8] M. Mustari dkk., *Pengantar Teknologi Pendidikan*. Yayasan Tri Edukasi Ilmiah, 2024.
- [9] E. S. Kurniawan, "Strategi Jembatan Konsep Analogi Untuk Meningkatkan PhyHOTS Peserta Didik Pada Pembelajaran Fisika," *J. Inov. Pendidik. Sains JIPS*, vol. 4, no. 1, hlm. 26–35, 2023, doi: <https://doi.org/10.37729/jips.v4i1.3023>.
- [10] N. Y. Saiputri, T. Firdaus, dan F. Rohman, "Pengembangan Alat Eksperimen Penentuan Koefisien Gaya Gesek pada Bidang Miring Berbasis Induksi Magnet," *U-Teach J. Educ. Young Phys. Teach.*, vol. 2, no. 2, hlm. 55–63, 2021.
- [11] H. Deliana dan S. Sugianto, "Analisis Kebutuhan Pengembangan Design Alat Praktikum Koefisien Gaya Gesek Berbasis Arduino," dalam *Prosiding Seminar Pendidikan Fisika FITK UNSIQ*, 2020, hlm. 250–255.
- [12] L. Lia, "Kemampuan Mahasiswa dalam Membuat Alat Peraga Fisika melalui Pembelajaran Berbasis Proyek," *Wahana Didakt.*, vol. 16, no. 2, hlm. 222–234, 2018.
- [13] W. A. Putri dan A. Astalini, "Analisis Kegiatan Praktikum untuk Dapat Meningkatkan Keterampilan Proses Sains dan Kemampuan Berpikir Kritis," *Edukatif J. Ilmu Pendidik.*, vol. 4, no. 3, hlm. 3361–3368, 2022.
- [14] S. D. Aprilia, S. N. Wulandari, K. D. Agustina, dan N. F. Sulaeman, "Mengeksplorasi Dampak Ketersediaan Peralatan pada Pelaksanaan Praktikum Fisika di Laboratorium SMA," *J. Literasi Pendidik. Fis. JLPE*, vol. 5, no. 1, hlm. 49–58, 2024.