

## Perancangan Alat Peraga Konversi Energi Panas Menjadi Energi Listrik Menggunakan Konverter Termoelektrik

Yuli Surya Aji\*, Yusro Al Hakim, Eko Setyadi Kurniawan

Program Studi Pendidikan Fisika, Universitas Muhammadiyah Purworejo, Indonesia

\*Email: [suryaji25@gmail.com](mailto:suryaji25@gmail.com)

### Abstrak

Telah dilakukan penelitian perancangan alat peraga konversi energi panas menjadi energi listrik menggunakan konverter termoelektrik guna mengetahui kelayakan alat peraga dan respon mahasiswa terhadap alat peraga. Desain Penelitian ini menggunakan tahap model ADDIE (*Analysis, Design, Development, Implementation, & Evaluation*). Penelitian ini dilaksanakan di Universitas Muhammadiyah Purworejo dengan subjek penelitian pada uji coba terbatas berjumlah 4 mahasiswa dan pada uji coba luas berjumlah 18 mahasiswa. Instrumen yang digunakan dalam penelitian ini adalah lembar validasi dan angket respon mahasiswa. Berdasarkan hasil penelitian diperoleh: (1) hasil uji alat peraga dengan melakukan lima kali pengujian didapatkan hasil tegangan  $1 (1.88 \pm 2.98 \times 10^{-3})$  V pada selisih suhu  $17^{\circ}\text{C}$ ,  $(1.96 \pm 2.37 \times 10^{-3})$  V pada selisih suhu  $20^{\circ}\text{C}$ ,  $(2.03 \pm 1.28 \times 10^{-3})$  V pada selisih suhu  $22^{\circ}\text{C}$ ,  $(2.13 \pm 5.92 \times 10^{-3})$  V pada selisih suhu  $24^{\circ}\text{C}$ , and  $(2.31 \pm 5.18 \times 10^{-3})$  V pada selisih suhu  $31^{\circ}\text{C}$ . (2) Validasi oleh dosen ahli terhadap alat peraga konversi energi diperoleh kelayakan sebesar 3,21 dengan kategori cukup baik dan rerata reliabilitas dua validator sebesar 93,8% dengan kategori reliabel. (3) Respon mahasiswa terhadap alat peraga pada uji coba terbatas diperoleh persentase 76,7% dengan kategori baik, pada tahap uji coba luas diperoleh persentase 83,8% dengan kategori baik. Dengan demikian alat peraga layak digunakan dalam pembelajaran.

**Kata Kunci:** Perancangan Alat Peraga, Konversi Energi, Konverter Termoelektrik.

### Abstract

Research on designing teaching aids for converting heat energy into electrical energy using a thermoelectric converter has been carried out in order to determine the feasibility of teaching aids and student responses to teaching aids. This research design uses the ADDIE model stage (*Analysis, Design, Development, Implementation, & Evaluation*). This research was conducted at Muhammadiyah University, Purworejo, with 4 students as subjects in the limited trial and 18 students in the wide trial. The instruments used in this study were validation sheets and student response questionnaires. Based on the results of the study, it was obtained: (1) the test results for the teaching aids by conducting five tests resulted in a voltage of  $(1.88 \pm 2.98 \times 10^{-3})$  V at a temperature difference of  $17^{\circ}\text{C}$ ,  $(1.96 \pm 2.37 \times 10^{-3})$  V at a temperature difference of  $20^{\circ}\text{C}$ ,  $(2.03 \pm 1.28 \times 10^{-3})$  V at a temperature difference of  $22^{\circ}\text{C}$ ,  $(2.13 \pm 5.92 \times 10^{-3})$  V at a temperature difference of  $24^{\circ}\text{C}$ , and  $(2.31 \pm 5.18 \times 10^{-3})$  V at a temperature difference of  $31^{\circ}\text{C}$ . (2) Validation by an expert lecturer on the instrument the energy conversion display obtained a feasibility of 3.21 in the fairly good category and the average reliability of the two validators was 93.8% in the reliable category. (3) Student responses to teaching aids in the limited trial obtained a percentage of 76.7% in the good category, in the broad trial stage the percentage was obtained in the good category of 83.8%. Thus the teaching aids are suitable for use in learning.

**Keyword :** Design of Teaching Aids, Energy Conversion, Thermoelectric Converters.

## Pendahuluan

Proses pembelajaran melalui kegiatan kurikuler wajib menggunakan metode pembelajaran yang efektif sesuai dengan karakteristik mata kuliah untuk mencapai kemampuan tertentu yang ditetapkan dalam matakuliah dalam rangkaian pemenuhan capaian pembelajaran lulusan (Permenristekdikti nomor 44 tahun 2015 pasal 14). Salah satu bentuk proses pembelajaran adalah praktikum. Fisika merupakan mata kuliah yang selalu berkaitan dengan praktikum (Hadiati dkk., 2020; Kurniawan dkk., 2017). Fisika mengkaji perilaku, struktur, dan interaksi benda secara empirik, oleh sebab itu dalam pembelajaran fisika seharusnya dimulai dari pengamatan yang melibatkan fenomena dan gejala alam yang berkaitan dengan materi fisika yang akan diajarkan. Saat ini masih banyak pembelajaran fisika dilakukan secara tekstual, menghafal rumus-rumus maupun teori - teori yang ada dalam buku (Reddy & Panacharoensawad, 2017). Hal ini menjadikan pembelajaran fisika mengutamakan pada konsep dan mengesampingkan fakta. Akibatnya pembelajaran menjadi jenuh dan kehilangan kesempatan untuk belajar secara empirik sehingga pembelajaran fisika menjadi tidak menarik (Retnawati dkk., 2018). Salah satu contoh pembelajaran fisika yang dilakukan secara tekstual yaitu pada pembelajaran materi sumber-sumber energi. Mahasiswa hanya mendengarkan penjelasan dari dosen atau hanya disuruh membaca di buku pelajaran tanpa mengetahui secara langsung bagaimana sumber-sumber energi itu dihasilkan.

Salah satu faktor yang mempengaruhi keberhasilan penggunaan kegiatan praktikum dalam pembelajaran adalah tersedianya peralatan praktikum yang memadai. Berdasarkan pengamatan yang peneliti lakukan di laboratorium Fisika Universitas Muhammadiyah Purworejo, alat peraga yang tersedia saat ini ada dalam berbagai jenis alat peraga fisika antara lain mekanika, elektronika, optika, gelombang, sedangkan alat peraga untuk konversi energi panas menjadi energi listrik belum tersedia. Kendala ini didukung hasil kajian oleh Alat peraga konversi energi dapat dirancang dengan konverter termoelektrik, prinsip kerja konverter termoelektrik dapat mengubah suhu menjadi listrik (Suyanto & Suana, 2019). Berdasarkan permasalahan tersebut, peneliti tertarik merancang suatu alat peraga konversi energi panas menjadi energi listrik. Alat peraga ini diharapkan mampu membuat pembelajaran fisika menjadi menarik dan melengkapi alat peraga di laboratorium.

Peran alat peraga dalam pembelajaran sangat penting yang dapat berupa segala macam benda yang digunakan untuk memperagakan materi pembelajaran (Karimah dkk., 2019; Qomariyah dkk., 2020). Alat peraga mengandung pengertian bahwa segala sesuatu yang masih bersifat abstrak agar dikonkretkan dengan menggunakan alat sehingga dapat dijangkau dengan pikiran yang sederhana dan dapat dilihat, dipandang, dan, dirasakan (Ariyanti dkk., 2022). Termoelektrik (*thermoelectric*) merupakan fenomena mengkonversikan dari perbedaan temperatur menjadi energi listrik atau dari energi listrik berubah menjadi beda temperatur (Syam dkk., 2017).

Fenomena ini telah dikembangkan menjadi menjadi suatu modul sehingga dapat digunakan sebagai pembangkit listrik atau perangkat pendingin/pemanas (Alimatussaumi dkk., 2017; Pradana dkk., 2021). Ada tiga efek utama yang terjadi dalam rangkaian termokopel yaitu Seebeck, Peltier, dan Thomson. Efek Seebeck menggambarkan tegangan atau kekuatan listrik (*electromotive force/EMF*) yang disebabkan oleh perbedaan temperatur (gradien) sepanjang kawat. Perubahan dalam bahan EMF sehubungan dengan perubahan temperatur disebut koefisien Seebeck atau sensitivitas termoelektrik. Koefien ini biasanya merupakan fungsi nonliniar dari temperatur. Efek Peltier menjelaskan perbedaan temperatur yang dihasilkan oleh EMF dan merupakan kebalikan dari efek seebeck. Efek Thomson berkaitan dengan gradien panas yang reversibel dan EMF dalam suatu penghantar homogen (Muharnif dkk., 2022). Tegangan yang dihasilkan oleh efek ini dalam orde  $\mu V/K$ . Satu contoh gabungan antara tembaga dan nikel, mempunyai koefisien Seebeck  $41 \mu V/K$  pada temperatur ruang. Tegangan  $\Delta V$  yang dihasilkan berasal dari persamaan :

$$V = \int_{T_1}^{T_2} (\alpha_B(T) - \alpha_A(T)) dT \quad (1)$$

dimana  $\alpha_A$  dan  $\alpha_B$  adalah koefisien Seebeck dari logam A dan B sebagai fungsi dari temperatur dan  $T_1$  dan  $T_2$  adalah temperatur dari dua persambungan. Koefisien Seebeck merupakan besaran nonliniar sebagai fungsi dari temperatur, dan tergantung dari temperatur absolut konduktor, bahan, dan struktur molekul. Jika koefisien Seebeck secara efektif konstan untuk jangkauan temperatur yang diukur, rumus di atas dapat disederhanakan menjadi :

$$V = (\alpha_A - \alpha_B)(T_2 - T_1) \quad (2)$$

Perbedaan tegangan  $V$ , dihasilkan di seluruh persambungan dari rangkaian terbuka yang dibuat dari sepasang logam berbeda, A dan B, yang dua persambungan terjadi perbedaan temperatur, adalah berbanding lurus dengan perbedaan temperatur antara persambungan panas dan dingin,  $T_2 - T_1$ . Tegangan atau arus yang dihasilkan di seluruh persambungan dari dua logam yang berbeda disebabkan oleh difusi elektron dari daerah dengan kepadatan elektron yang tinggi ke daerah dengan kepadatan elektron rendah karena kepadatan elektron berbeda pada logam yang berbeda. Arus mengalir dalam arah yang berlawanan. Jika kedua persambungan dijaga pada temperatur yang sama, difusi elektron pada kedua persambungan juga sama. Arus pada kedua persambungan adalah sama dan berlawanan arah sehingga jumlah arus adalah nol, dan jika kedua persambungan dijaga pada temperatur yang berbeda maka difusi pada kedua persambungan juga berbeda sehingga arus dihasilkan. Oleh karena itu jumlah arus tidak nol, hal tersebut dikenal sebagai fenomena *thermoelectric* (Mirmanto & Wirawan, 2021).

Dalam penelitian ini, dilakukan perancangan alat peraga termoelektrik guna memberikan pemahaman konsep maupun analisis bagi mahasiswa maupun peserta didik di sekolah tentang prinsip kerja termoelektrik sebagai peraga konversi energi.

## Metode

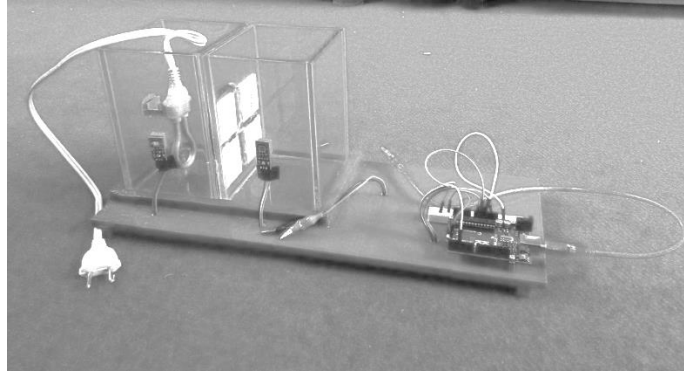
Produk yang dirancang dalam penelitian ini adalah alat peraga konversi energi panas menjadi energi listrik menggunakan konverter termoelektrik. Penelitian ini mengikuti prosedur perancangan alat peraga yang mengadopsi tahap pengembangan model ADDIE (*Analysis – Design – Development – Implementation – Evaluation*). Subyek dalam penelitian ini adalah mahasiswa Universitas Muhammadiyah Purworejo semester IV yang berjumlah 18 orang. Tahapan analisis merupakan analisis kebutuhan terhadap alat peraga dan ketersediaan alat peraga di laboratorium. Tahapan desain berupa pembuatan alat peraga konverter panas berbantuan mikrokontroler sedemikian rupa sehingga dapat berfungsi dengan baik. Tahap pengembangan memuat validasi alat peraga dan validasi oleh ahli fisika. Implementasi dan Evaluasi dilakukan guna memperoleh masukan dan koreksi atas alat peraga yang telah dibuat untuk ditindaklanjuti atau diperbaiki sesuai saran, masukan, dan fungsinya.

Pengumpulan data dalam penelitian ini menggunakan lembar uji alat peraga, lembar validasi produk dan angket respon mahasiswa. Uji alat peraga digunakan untuk mengetahui fungsinya alat peraga sesuai teori yang ada. Validasi produk digunakan untuk mengetahui kelayakan alat peraga yang dirancang dapat digunakan dalam pembelajaran. Angket respon mahasiswa digunakan untuk mengetahui tanggapan mahasiswa terhadap alat peraga yang dirancang.

## Hasil dan Pembahasan

Dalam penelitian ini, mekanisme penelitian perancangan ini mengadaptasi model pengembangan ADDIE yang terdiri dari *Analyze, Design, Development, Implementation, dan Evaluation*. Tahap pertama dari perancangan alat peraga konverter termoelektrik berupa kegiatan analisis kebutuhan alat peraga yang bertujuan untuk mengetahui apa saja yang dibutuhkan dalam perancangan alat peraga dan kebermanfaatannya dalam mendukung pembelajaran materi Energi. Hal-hal, yang diperlukan dalam perancangan alat peraga konverter termoelektrik adalah materi, serta alat dan bahan yang akan digunakan. Selain itu, kebutuhan akan alat peraga konverter termoelektrik di laboraatorium menjadi alasan mendasar sehingga dilakukan penelitian ini. Tahap kedua yaitu analisis materi dilakukan dengan mengidentifikasi materi yang akan di ajarkan menggunakan alat peraga dan berdasarkan hasil literasi melalui beberapa kajian hasil-hasil penelitian. Analisis juga dilakukan dengan berbagai referensi sebagai pertimbangan peneliti untuk menentukan alat dan bahan yang akan di gunakan dalam perancangan alat peraga konverter termoelektrik.

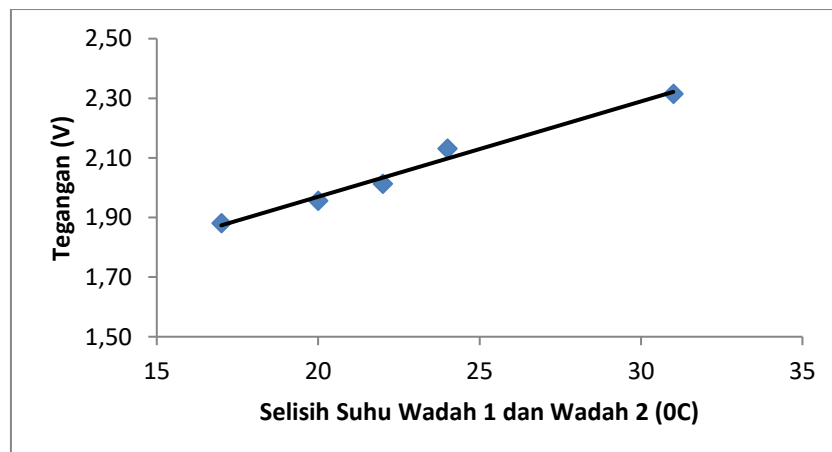
Tahap desain merupakan proses perncangan dari alat peraga konverter energi panas menggunakan konverter termoelektrik. Alat peraga didesain sedemikian rupa sehingga dapat mengalir dari satu bejana ke bejana yang lain melalui sensor suhu dan konverter ([Gambar 1](#)). Hasil ujicoba menunjukkan bahwa alat dapat bekerja dengan baik dan terjadi pergerakan pada alat ukur.



**Gambar 1.** Desain Alat Peraga

Alat peraga yang telah didesain dan dirangkai sebagaimana ditunjukkan pada **Gambar 1** dilakukan uji coba guna mengetahui keterbacaan alat dan fungsi alat guna mengukur suhu pada kedua wadah dan tegangan yang dihasilkan. Percobaan dilakukan sebanyak lima kali dengan selisih suhu yaitu  $17^{\circ}\text{C}$ ,  $20^{\circ}\text{C}$ ,  $22^{\circ}\text{C}$ ,  $24^{\circ}\text{C}$ , dan  $31^{\circ}\text{C}$ . Berdasarkan hasil uji alat peraga, percobaan 1 diperoleh tegangan  $1,881 \pm 2,98 \cdot 10^{-3}$  pada selisih suhu  $17^{\circ}\text{C}$ , percobaan 2 diperoleh tegangan  $1,956 \pm 2,37 \cdot 10^{-3}$  V pada selisih suhu  $20^{\circ}\text{C}$ , percobaan 3 diperoleh tegangan  $2,013 \pm 1,28 \cdot 10^{-3}$  V pada selisih suhu  $22^{\circ}\text{C}$ , percobaan 4 diperoleh tegangan  $2,131 \pm 5,92 \cdot 10^{-3}$  V pada selisih suhu  $24^{\circ}\text{C}$ , dan percobaan 5 diperoleh tegangan  $2,315 \pm 5,18 \cdot 10^{-3}$  V pada selisih suhu  $31^{\circ}\text{C}$ . Berdasarkan data uji coba tersebut dapat disajikan dalam bentuk grafik hubungan antara selisih suhu terhadap tegangan. Pada grafik sebagaimana ditunjukkan pada **Gambar 2**.

Berdasarkan **Gambar 2** didapatkan grafik uji *output* tegangan alat terhadap selisih suhu 2 sisi termoelektrik adalah linear karena semakin besar selisih suhu maka tegangan yang didapatkan semakin besar.



**Gambar 2.** Grafik Uji *Output* Tegangan Alat Peraga

**Tabel 1.** Data Hasil Validasi Alat Peraga

No.	Aspek yang dinilai	Rerata Skor	Reliabilitas
1.	Manfaat	22	95,4%
2.	Penyajian	19,5	92,3%
3.	Penampilan fisik	12,5	96%
4.	Kelayakan isi	7	100%
5.	Kebahasaan	9	88,8%
6.	Sajian	9,5	94,7%
7.	Grafis	10	90%
<b>Jumlah Skor Aktual</b>		89,5	93,8%

Guna mengetahui kelayakan produk alat peraga, dalam penelitian ini melakukan uji validasi terhadap produk alat peraga sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 1. Validasi dilakukan dengan oleh 3 orang yaitu ahli fisika, ahli media pembelajaran, serta guru mata pelajaran di sekolah. Berdasarkan hasil validasi alat peraga oleh dosen ahli 1, 2, dan guru fisika diperoleh aspek manfaat diperoleh rerata 22 dengan reliabilitas 95,4%. Aspek penyajian diperoleh rerata 19,5 dengan reliabilitas 92,3%. Aspek penampilan fisik diperoleh rerata 12,5 dengan reliabilitas 96%. Aspek kelayakan isi diperoleh rerata 7 dengan reliabilitas 100%. Aspek kebahasaan diperoleh rerata 9 dengan reliabilitas 88,8%. Aspek sajian diperoleh rerata 9,5 dengan reliabilitas 94,7%. Aspek grafis diperoleh rerata 10 dengan reliabilitas 90%. Uji reliabilitas pada aspek manfaat sebesar 95,4%. Aspek penyajian sebesar 92,3%. Aspek penampilan fisik sebesar 96%. Aspek kelayakan isi sebesar 100%. Aspek kebahasaan sebesar 88,8%. Aspek sajian sebesar 94,7%. Aspek grafis sebesar 90%. Reliabilitas yang didapatkan dari keseluruhan aspek yang dinilai adalah 93,8%. Berdasarkan *percentage agreement* dinyatakan bahwa data yang didapatkan reliabel karena  $\geq 75\%$ .

Untuk mengetahui keterbacaan alat peraga dan penggunaan alat dalam pembelajaran, telah dilakukan uji coba keterbacaan secara terbatas dan respon mahasiswa terhadap alat peraga yang telah dirancang tersebut. Respon subyek penelitian yaitu mahasiswa memberikan capaian respon yang baik dari aspek manfaat, penyajian, maupun penampilan fisik, hal tersebut disajikan pada Tabel 2.

Berdasarkan hasil respon mahasiswa pada Tabel 2, aspek manfaat mendapatkan persentase 85,1% dengan kategori baik. Aspek penyajian alat mendapatkan persentase 85,6% dengan kategori baik. Aspek penampilan fisik mendapatkan persentase 80,8% dengan kategori baik. Dari keseluruhan aspek yang dinilai diperoleh persentase 83,8% dengan kategori baik.

**Tabel 2.** Data Hasil Respon Mahasiswa

No.	Aspek yang dinilai	Skor yang diperoleh	Persentase	Kategori
1.	Manfaat	245	85,1%	Baik
2.	Penyajian	370	85,6%	Baik
3.	Penampilan fisik	291	80,8%	Baik
Rerata		302	83,8%	Baik



Berdasarkan hasil ujicoba alat peraga konversi energi panas menjadi energi listrik menggunakan konverter termoelektrik yang telah dibuat dan dirancang menunjukkan bahwa alat peraga telah berfungsi sebagai mana mestinya untuk membuktikan adanya pengaruh konversi panas menjadi energi listrik. Data yang telah diperoleh pada [Gambar 2](#) menunjukkan hasil uji coba alat. Meskipun secara teoretis belum diketahui berapa suhu ideal dan tegangan yang dihasilkan, namun peraga ini secara nyata mampu membuktikan adanya konversi panas menjadi listrik. Hal ini senada dengan hasil penelitian oleh (Syam dkk., 2017) yang menunjukkan bahwa adanya pengaruh kelistrikan akibat perbedaan temperatur sambungan kawat logam tembaga dan seng untuk peraga termoelektrik. Kajian yang relevan juga dilakukan oleh (Pradana dkk., 2021) yang dapat merancang alat konverter termoelektrik sebagai peraga konverter energi. Kajian serupa dilakukan oleh (Tambun dkk., 2023) yang merancang alat konverter panas berupa peraga generator panas sebagai konverter energi panas menjadi energi listrik.

Berdasarkan temuan dalam penelitian ini alat peraga dapat dipergunakan sebagai media pembelajaran fisika khususnya pada materi suhu, kalor, maupun pokok bahasan energi. Meskipun pada wadah tempat air panas dan dingin diletakkan belum efisien ditinjau dari adanya panas dan dingin yang dilepaskan di udara, alat ini telah mampu menunjukkan adanya aliran listrik melalui konverter termoelektrik tersebut. Kajian ini perlu ditindaklanjuti dengan mengisolasi panas dan dingin pada wadah menggunakan bahan kedap sehingga tidak ada panas atau dingin yang dilepaskan secara langsung ke lingkungan.

## Kesimpulan

Berdasarkan penelitian perancangan alat peraga konversi energi panas menjadi energi listrik menggunakan konverter termoelektrik, diperoleh kesimpulan: (1) Penelitian perancangan ini menghasilkan produk berupa media ajar alat peraga dengan konverter termoelektrik. Berdasarkan hasil uji alat peraga dengan melakukan lima kali pengujian didapatkan hasil tegangan yang dapat membuktikan bahwa alat peraga yang dirancang berfungsi dengan cukup baik. (2) Hasil validasi oleh ahli terhadap alat peraga konversi energi dinyatakan layak dengan kategori cukup baik dan memiliki rerata reliabilitas alat peraga pada kriteria baik. (3) Respon mahasiswa terhadap alat peraga pada uji coba terbatas diperoleh persentase yang cukup signifikan dan termasuk kategori baik. Alat peraga ini dapat dimanfaatkan sebagai peraga pembelajaran fisika khususnya energi, suhu, dan kalor. Perlu dikembangkan lebih lanjut sehingga menghasilkan efisiensi kerja alat yang optimal dan listrik yang dihasilkan cenderung stabil dan meningkat voltasenya.

## Daftar Pustaka

Alimatussaumi, M., Suyanto, E., & Abdurrahman, A. (2017). Analisis Kelistrikan Sambungan Pelat Aluminium dan Besi Akibat Perbedaan Temperatur untuk Peraga Termoelektrik. *Jurnal Pembelajaran Fisika*, 5(5).

- Ariyanti, A. M., Zainuddin, Z., & Dewantara, D. (2022). Development of Electronic Teaching Material Containing South Kalimantan's Traditional Game to Improving Students' Problem-Solving Ability. *Radiasi: Jurnal Berkala Pendidikan Fisika*, 15(2), 60-71.
- Hadiati, S., Anita, A., & Pramuda, A. (2020). Pengembangan Instrumen Penilaian Afektif Pada Asisten Praktikum Laboratorium Fisika. *Radiasi: Jurnal Berkala Pendidikan Fisika*, 13(2), 35-39.
- Karimah, H. N., Subali, B., Ellianawati, E., Handayani, L., & Natalia, E. (2019). *Pengembangan Alat Peraga Efek Doppler*. 47-53.
- Kurniawan, A., Ashari, A., & Maftukhin, A. (2017). Pengembangan Media Pembelajaran Menggunakan Software Lectora Inspire untuk Meningkatkan Motivasi Belajar Fisika Siswa Kelas X MAN Purworejo Tahun Pelajaran 2016/2017. *Radiasi: Jurnal Berkala Pendidikan Fisika*, 10(1), 35-40.
- Mirmanto, S., & Wirawan, M. (2021). *Teori Dasar Dan Aplikasi Pendingin Termoelektrik (Pendingin Tanpa Freon)*. Deepublish.
- Muharnif, M., Umuani, K., & Nasution, F. A. (2022). Analisis Termoelektrik Generator (TEG) Sebagai Pembangkit Listrik Bersekala Kecil Terhadap Perbedaan Temperatur. *Jurnal Rekayasa Material, Manufaktur dan Energi*, 5(1), 26-32.
- Pradana, A. B., Irawan, F., Wisnu, A., Saputra, B. D., Subakti, G., Yusuf, M., & Yunita, T. R. (2021). Perancangan Purwarupa Pembangkit Termoelektrik sebagai Media Pembelajaran Konversi Energi. *Jurnal Edukasi Elektro*, 5(1), 14-19.
- Qomariyah, N., Wirawan, R., Minardi, S., & Handayana, I. G. N. Y. (2020). Pendalaman Konsep Fisika Menggunakan Alat Peraga Berbasis Mikrokontroler Pada Siswa Sma. *SELAPARANG: Jurnal Pengabdian Masyarakat Berkemajuan*, 4(1), 486-490.
- Reddy, M., & Panacharoensawad, B. (2017). Students Problem-Solving Difficulties and Implications in Physics: An Empirical Study on Influencing Factors. *Journal of Education and Practice*, 8(14), 59-62.
- Retnawati, H., Arlinwibowo, J., Wulandari, N. F., & Pradani, R. G. (2018). Teachers' difficulties and strategies in physics teaching and learning that applying mathematics. *Journal of Baltic Science Education*, 17(1), 120.
- Suyanto, E., & Suana, W. (2019). Peraga Fenomena Kelistrikan Akibat Perbedaan Temperatur pada Pasangan Kawat Tembaga dan Seng. *Jurnal Pendidikan Fisika*, 7(2), 223-235.
- Syam, L. N., Suyanto, E., & Suana, W. (2017). Analisis Kelistrikan Akibat Perbedaan Temperatur Sambungan Kawat Logam Tembaga dan Seng untuk Peraga Termoelektrik. *Jurnal Pembelajaran Fisika*, 5(5), 67-75.
- Tambun, N., Mustika, D., & Lubis, N. A. (2023). Rancang Alat Konverter Energi Panas Menjadi Energi Listrik Dengan Menggunakan Thermoelektrik Sederhana. *Relativitas: Jurnal Riset Inovasi Pembelajaran Fisika*, 6(1), 11-23.