

PENERAPAN PERANGKAT BIO-BATERAI BERBAHAN AMPAS KOPI DAN PEMANFAATANNYA SEBAGAI MEDIA PEMBELAJARAN FISIKA SMA DI KOTA TOMOHON

Ishak Pawarangan^{1*}, Widya Anjelia Tumewu², Vicky Julius Mawuntu³

^{1*,3}Program Studi Fisika, Universitas Negeri Manado, Sulawesi Utara 95618, Indonesia

²Program Studi Pendidikan IPA, Universitas Negeri Manado, Sulawesi Utara 95618, Indonesia

^{1*}ishakpawarangan@unima.ac.id, ²widyatumewu@unima.ac.id, ³vicky_mawuntu@unima.ac.id

Abstract: *Coffee is one of the most popular caffeinated beverages globally, with a continuously growing commercial demand. This community service project aims to implement a coffee ground-based bio-battery device and utilize it as a learning medium for high school physics in Tomohon, in collaboration with the Tomohon Physics Teacher Working Group (MGMP Fisika). The program was conducted using Service Learning methods, which integrate community service with academic learning to achieve meaningful outcomes for both students and the community. The implementation consisted of five stages: socialization, training, technology implementation, mentoring, and evaluation, along with program sustainability efforts. The outcomes achieved include the availability of a coffee ground bio-battery prototype, a renewable energy learning module, and increased knowledge and skills among partners, as shown by pretest and posttest results. Additional outputs include the publication of articles in electronic and print media, activity implementation videos, and a guide module for developing and using the bio-battery prototype. Furthermore, an additional outcome was obtaining copyright for the technology. This project produced a bio-battery device that serves not only as an alternative energy source but also as an effective and relevant physics learning medium, enhancing students' awareness of renewable energy and environmental sustainability.*

Keyword: Bio-battery; Coffee; Coffee Grounds; Physics Learning; Renewable Energy.

Copyright (c) 2025 Ishak Pawarangan, Widya Anjelia Tumewu, Vicky Julius Mawuntu.

* Corresponding author :

Email Address : ishakpawarangan@unima.ac.id (Universitas Negeri Manado, Minahasa)

Received: February 4, 2025; Revised: April 16, 2025; Accepted: April 23, 2025; Published: April 30, 2025

PENDAHULUAN

Musyawarah Guru Mata Pelajaran (MGMP) adalah salah satu organisasi yang bergerak di bidang pendidikan yang diakui oleh pemerintah selain PGRI^{1,2}. Keberadaan MGMP fisika termasuk salah satu upaya yang dilakukan untuk meningkatkan sikap profesional guru dibidang fisika^{3,4}.

¹ Hamdi Akhsan et al., "Pelatihan Manajemen Laboratorium Fisika Untuk Guru Fisika Di MGMP Fisika Kabupaten Ogan Komering Ulu," *Bubungan Tinggi: Jurnal Pengabdian Masyarakat* 4, no. 4 (2022): 1331.

² Pauzan Najri, "MGMP Dalam Meningkatkan Keprofesionalan Guru Mata Pelajaran," *AKTUALITA jurnal penelitian sosial dan keagamaan* 10, no. 1 (2020): 130–144, www.ejournal.annadwahkualatungkal.ac.id.

³ Rifda Nur Hikmahwati Arif, Salma Samputri, and Rifda Mardian Arif, "Perencanaan Pembelajaran Berdasarkan Peran MGMP Fisika SMA Negeri Se-Kota Banjarmasin," *NCOINS : National Conference Of Islamic Natural Science* (2021): 64–76.

⁴ Mohammad Tohir, "Peningkatan Kompetensi Guru Pembina Pertama Kabupaten Madiun," *Jurnal Pengabdian Masyarakat As-sidanah* 1, no. 2 (2019): 199–226.

Profesionalisme guru dituntut terus meningkat seiring dengan perkembangan zaman, ilmu pengetahuan, dan teknologi. MGMP Fisika Kota Tomohon terletak di kota Tomohon, provinsi Sulawesi Utara dan menjadi wadah bagi guru-guru Fisika di kota Tomohon untuk meningkatkan sikap profesional. Kegiatan pertemuan MGMP Fisika Kota Tomohon umumnya diisi dengan diskusi terkait telaah kurikulum, penyusunan indikator soal ujian sekolah, pendalaman dan penyusunan materi pengajaran, dan penyusunan administrasi guru. MGMP Fisika Kota Tomohon tahun 2024 diketuai oleh Buddy Yohanes Mende, S.Pd. yang merupakan salah satu guru fisika di SMA Kristen 2 Binsus Tomohon. Anggota MGMP Fisika Kota Tomohon adalah guru-guru fisika yang aktif mengajar di beberapa SMA di Kota Tomohon. Guru-guru fisika tersebut berasal baik dari sekolah swasta seperti SMAS Kristen 2 Tomohon, SMAS Katolik Karitas Tomohon, SMAS Lokon St. Nikolaus Tomohon, SMAS PGRI Tomohon, SMAS Kristen 1 Tomohon, SMAS Kosgoro Tomohon maupun sekolah negeri dari SMA Negeri 1 Tomohon. Sebaran sekolah yang tergabung dalam MGMP Fisika kota Tomohon ditandai dengan garis biru putus putus seperti ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Sebaran lokasi sekolah anggota MGMP Fisika Kota Tomohon

Secara sebaran lokasi sekolah anggota MGMP fisika kota Tomohon masih berada pada lokasi relatif dekat dan akses kendaraan relatif mudah bahkan ada sekolah yang berada dalam kompleks yang sama dan berada bersampingan yakni SMAS Kristen 1 Tomohon dan SMAS Kristen 2 Tomohon. Lokasi sekolah yang relatif berdekatan dan akses yang relatif mudah antar anggota ini semestinya tidak menjadi penghalang untuk mengadakan pertemuan rutin anggota. Namun, kondisi lapangan menunjukkan kurangnya pertemuan rutin berdasarkan informasi ketua MGMP Fisika kota Tomohon. Pertemuan dengan ketua MGMP Fisika kota Tomohon dan salah satu

pertemuan MGMP Fisika Kota Tomohon ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. (a) Pertemuan dengan ketua MGMP Fisika kota Tomohon dan (b) salah satu pertemuan MGMP Fisika Kota Tomohon

Pertemuan dengan ketua MGMP Fisika kota Tomohon seperti ditunjukkan pada Gambar 1a pada beberapa waktu lalu yang disertai dengan diskusi terkait keberadaan dan bentuk kegiatan MGMP Fisika di kota Tomohon termasuk dengan penandatanganan kerja sama kesediaan mitra untuk kegiatan pengabdian. Berdasarkan hasil diskusi dengan ketua MGMP Fisika kota Tomohon diketahui bahwa dalam beberapa waktu terakhir, kegiatan MGMP tidak berjalan rutin sebagaimana mestinya pasca pandemi. Kegiatan MGMP yang tidak berjalan secara maksimal ini berdampak pada terbatasnya pertemuan untuk berdiskusi khususnya dalam peningkatan profesional guru. Salah satu bentuk kegiatan yang tidak terlaksana adalah penyusunan bahan ajar baik berupa modul pembelajaran maupun praktikum. Selain itu, hasil diskusi dengan guru yang tergabung dalam MGMP Fisika Kota Tomohon didapatkan informasi bahwa masih terdapat murid yang kesulitan memahami materi energi yang ditandai dengan hasil asesmen 22% murid dikelas belum mencapai kriteria ketercapaian tujuan pembelajaran (KKTP).

Salah satu bahan ajar yang belum dikembangkan dan dimanfaatkan oleh MGMP Fisika kota Tomohon adalah energi terbarukan padahal materi energi terbarukan merupakan salah satu materi yang sangat penting. Pembelajaran energi terbarukan pada peserta didik merupakan langkah yang tepat guna menambah wawasan dan pengetahuan untuk pemanfaatan dan pengelolaan energi terbarukan dalam upaya mendukung terciptanya ketahanan energi dimasa mendatang. Selain itu, pembelajaran materi energi terbarukan sebaiknya dilakukan secara kontekstual agar peserta didik dapat memahami materi energi terbarukan yang bersifat abstrak⁵. Lebih lanjut, umumnya guru-guru

⁵ Bawono Widyo Gumelar, Indah Widiastuti, and Danar Susilo Wijayanto, ‘Pembelajaran Energi Terbarukan Untuk As-Sidanah: Jurnal Pengabdian Masyarakat, 7(1), 197-215, April 2025 | 199

di sekolah dasar dan menengah mengalami kesulitan dalam menyampaikan materi tentang energi terbarukan secara mudah dan menarik⁶. Materi energi terbarukan pada jenjang sekolah menegah atas ditujukan agar peserta didik dapat mengidentifikasi masalah ketersediaan energi yang ada di lingkungan sekitar tempat tinggal dengan baik, dapat menganalisis pemecahan masalah yang mungkin untuk keterbatasan energi di lingkungan sekitar tempat tinggal dengan baik, dan dapat merancang sebuah alat sederhana penghasil energi sebagai pemecahan masalah keterbatasan sumber energi di sekitar tempat tinggal dengan benar.

Kopi adalah salah satu minuman berkefein paling diminati dengan tingkat komersial yang terus berkembang. Selain itu, semakin bermunculannya coffee shop termasuk di kota Tomohon telah bagian dari tren dan gaya hidup masa kini yang secara signifikan berdampak pada perdagangan dan konsumsi kopi yang terus meningkat di seluruh dunia. Organisasi Kopi Internasional per Mei 2024 melaporkan bahwa di tahun 2023/2024 konsumsi kopi global mencapai 177,1 juta kantong (60 kg/kantong)⁷. Lebih lanjut, penelitian menunjukkan bahwa dalam 100 kg bubuk kopi setidaknya mengandung 90% (90 kg) residu atau yang umum disebut ampas kopi⁸. Sejauh ini ampas kopi di *coffee shop* umumnya tidak digunakan lagi dan langsung dibuang ke lingkungan. Ampas kopi yang dibuang langsung ke lingkungan ini dapat mengakibatkan efek merusak lingkungan karena dapat menyebabkan kerusakan DNA dan menimbulkan toksisitas bagi organisme air⁹.

Ketua tim pengusul pada penelitian lain sebelumnya telah dilakukan beberapa penelitian untuk menganalisis dan mengoptimasi penggunaan perangkat bio-baterai berbahan ampas kopi yang dimulai dari identifikasi sifat kelistrikan ampas kopi yang hasilnya menunjukkan bahwa ampas kopi memiliki potensi sebagai bio-baterai^{10;11;12}, selanjutnya dilakukan modifikasi pada jarak elektroda dan tingkat kekeringan ampas kopi kaitannya dengan produksi sifat kelistrikan¹³,

Sekolah Dasar Studi Kasus Di Kabupaten Klaten,” *Jurnal Ilmiah Pendidikan Teknik dan Kejuruan* 11, no. 1 (2019): 16.

⁶ Fenny Irawati, Fitri Dwi Kartikasari, and Elieser Tarigan, “Pengenalan Energi Terbarukan Dengan Fokus Energi Matahari Kepada Siswa Sekolah Dasar Dan Menengah,” *Publikasi Pendidikan* 11, no. 2 (2021): 164.

⁷ International Coffee Organization (ICO), “Coffee Market Report,” 2024, <https://www.icocoffee.org/documents/cy2023-24/cmr-0524-e.pdf>.

⁸ C. Kourmentza et al., “Spent Coffee Grounds Make Much More than Waste: Exploring Recent Advances and Future Exploitation Strategies for the Valorization of an Emerging Food Waste Stream,” *Journal of Cleaner Production* 172 (2018): 980–992, <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.10.088>.

⁹ A. S. Fernandes et al., “Impacts of Discarded Coffee Waste on Human and Environmental Health,” *Ecotoxicology and Environmental Safety* 141 (2017): 30–36, <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecoenv.2017.03.011>.

¹⁰ Ishak Pawarangan and Wilson Jefriyanto, “Identification of Electrical Properties of Bio-Battery Based on Spent Coffee Grounds,” *Buletin Fisika* 23, no. 2 (2022): 92–96.

¹¹ Ridhwan Haliq, Kelvin Kan, and Idhil Ismail, “Utilization of Spent Coffee Grounds with Sodium Hydroxide (NaOH) as Electrolyte for Applications Bio-Battery,” *Defect and Diffusion Forum* 421 (2022): 111–120.

¹² Ridhwan Haliq, I. Komang Yudith Aryaraditya Prawira, and Andi Idhil Ismail, “Utilization of Spent Coffee Grounds with Hydrochloric Acid (HCl) as Electrolyte for Bio-Battery Applications,” *Defect and Diffusion Forum* 421 (2022): 121–131.

¹³ Ishak Pawarangan, Martina Pineng, and Saiful Achmad Anum, “The Electrical Productivity of Arabica Coffee Grounds Battery Based on Electrode Distance and Dryness Level,” *Jurnal Riset dan Kajian Pendidikan Fisika* 9, no. 1 (2022): 1–8.

selanjutnya dilakukan penelitian untuk pengujian struktur morfologi dan gugus fungsional ampas kopi untuk mengkaji potensi lain dalam bidang elektronika^{14;15;16}. Kegiatan pengabdian yang telah dilaporkan terkait dengan penggunaan ampas kopi menjadi *coffee clay* dimana pelatihan ini memberikan tambahan pengetahuan kepada siswa sebagai individu dalam masyarakat untuk mengenal salah satu cara pengolahan limbah ampas kopi skala rumah¹⁷. Penggunaan ampas kopi sebagai bio-baterai selama ini masih terbatas pada skala penelitian^{18;19;20} dan sejauh ini belum ada laporan mengenai pemanfaatan bio-baterai berbahan ampas kopi sebagai media pembelajaran.

Bertolak dari uraian diatas memberi gambaran bahwa tidak rutinnya pertemuan anggota MGMP Fisika kota Tomohon yang secara tidak langsung berdampak pada tidak adanya ruang untuk peningkatan profesional guru. Hal ini juga memberi indikasi pada belum terdapatnya perangkat ajar yang memadai yang mengakibatkan masih terdapat murid mengalami kesulitan memahami materi energi terbarukan. Oleh karena itu, diperlukan dukungan dan kerjasama berbagai pihak untuk memberikan alternatif solusi terhadap permasalahan ini dan melalui tim pengabdian ini diterapkan prototipe bio-baterai berbahan limbah ampas kopi yang disertai modul materi energi terbarukan. Pemanfaatan ini dimaksudkan tidak hanya untuk mengurangi efek negatif pembuangan residu ampas kopi ke lingkungan selama ini tetapi juga untuk mengasah kepekaan guru dan murid dalam penggunaan sampah menjadi material fungsional yang sekaligus juga mendukung program pemerintah terkait pengembangan energi hijau.

METODE PENELITIAN

Metode pelaksanaan dalam kegiatan pengabdian ini menggunakan metode *service learning*^{21;22;23}.

¹⁴ Ishak Pawarangan et al., “Analisis Struktur Morfologi Dan Gugus Fungsi Serbuk Kopi Robusta Toraja,” *Fullerene Journal of ...* 8, no. 1 (2023): 21–26.

¹⁵ Dwi Prasetyawati Thana et al., “Morphological Structure and Functional Group of Toraja Robusta and Arabica Spent Coffee Grounds for Electronic Device Applications,” *Jurnal Riset dan Kajian Pendidikan Fisika* 10, no. 1 (2023): 22–27.

¹⁶ Ishak Pawarangan et al., “Spent Coffee Grounds and Its Potential Applications for Electronic Devices: A Review,” *AIP Conference Proceedings* 2542, no. November (2022): 050014-1-050014-5.

¹⁷ Daniar Setyo Rini et al., “Pemanfaatan Sampah Ampas Kopi Sebagai Media Pembelajaran Dalam Bentuk Coffee Clay,” *Jurnal Solma* 13, no. 3 (2024): 2965–2975.

¹⁸ Haliq, Aryaraditya Prawira, and Ismail, “Utilization of Spent Coffee Grounds with Hydrochloric Acid (HCl) as Electrolyte for Bio-Battery Applications.”

¹⁹ Ishak Pawarangan et al., “The Effect of KOH Molarity Concentration on The Electrical Properties of Spent Coffee Grounds Bio-Battery,” *Jurnal Sosied* 7, no. 2 (2024).

²⁰ Haliq, Kan, and Ismail, “Utilization of Spent Coffee Grounds with Sodium Hydroxide (NaOH) as Electrolyte for Applications Bio-Battery.”

²¹ Tri Kristianti et al., “Implementation of Service-Learning Method As the Impactful Learning Strategy in Basic Education,” *As-Sidanah: Jurnal Pengabdian Masyarakat* 5, no. 2 (2023): 328–341.

²² Ibid.; Firdha Yusmar and Rizka Elan Fadilah, “Analisis Rendahnya Literasi Sains Peserta Didik Indonesia: Hasil Pisa Dan Faktor Penyebab,” *LENZA (Lentera Sains): Jurnal Pendidikan IPA* 13, no. 1 (2023): 11–19.

²³ Siti Fathimah et al., “Pembinaan Untuk Mengenali Dan Mengembangkan Potensi Diri Pada Generasi Z : Penerapan PKM Dengan Pendekatan Service Learning Di SMP-SMA Mumamadiyah Sumberpucun Malang,” *As-Sidanah: Jurnal*

Service learning adalah metode pengabdian kepada masyarakat yang efektif dalam mengintegrasikan pembelajaran akademik dengan pengalaman praktis. Metode ini tidak hanya meningkatkan pemahaman akademik siswa tetapi juga mengembangkan keterampilan sosial dan profesionalisme^{24;25;26}. Kegiatan pengabdian ini dilaksanakan selama 8 bulan dengan pendampingan pada mitra (siswa) selama 2 bulan beberapa SMA di Kota Tomohon yakni SMAS Kristen 1 Tomohon, SMAS Kristen 2 Tomohon dan SMA Negeri 2 Tomohon dan pelatihan bagi guru dilaksanakan di SMAS 2 Kristen Tomohon dimana guru yang berperan selaku ketua MGMP Fisika kota Tomohon bertugas. Kegiatan ini bertujuan menerapkan hasil riset bio-baterai berbahan limbah ampas kopi dengan mengintroduksi pemanfaatannya sebagai media pembelajaran materi energi terbarukan.

Kegiatan ini melibatkan 14 anggota MGMP Fisika kota Tomohon yang tercatat secara administrasi. Mitra yang terlibat dalam hal ini guru anggota MGMP Fisika kota Tomohon turut berpartisipasi dan berkolaborasi pada kegiatan: (a) Persamaan persepsi terkait pelaksanaan kegiatan; (b) Mendukung tim dalam koordinasi terkait administrasi dan tempat pengabdian; (c) Mengikuti pelatihan dengan baik sehingga dapat memahami manfaat pengabdian; (d) Mitra mengikuti kegiatan pendampingan dengan berpartisipasi secara aktif ; (e) Mitra memberikan tanggapan terkait pelaksanaan kegiatan pengabdian; dan (f) Mitra menerapkan prototipe yang telah dikembangkan dalam kegiatan pembelajaran. Metode palaksanaan dalam kegiatan pengabdian ini dilakukan dalam 5 tahapan yakni sosialisasi, pelatihan, penerapan teknologi, pendampingan dan evaluasi serta keberlanjutan program.

Tahap sosialisasi; tahapan ini meliputi diskusi kelompok terpumpun atau *focus group discussion* (FGD) tim pelaksana pengabdian (anggota dosen dan anggota mahasiswa) yang membahas koordinasi keterlaksanaan program, pemantapan program dan kerja tim. Setiap anggota dipastikan dapat melakukan deskripsi pekerjaan masing-masing. Selanjutnya, dilakukan persiapan administrasi yang terkait dengan kegiatan pengabdian. Setelah itu, dilakukan kegiatan sosialisasi pada mitra yang dimaksudkan untuk membangun kesepahaman dan kerjasama mitra sehingga diharapkan kegiatan pengabdian bukan hanya terkait dengan pelatihan satu arah saja tetapi terjadi kolaborasi antara

Pengabdian Masyarakat 6, no. 2 (2024): 362–382.

²⁴ S Sulaiman, S J M Shahrol, and A R A Samad, “Service Learning in Application Development Course: A Case Study of a Rural Community Engagement,” in *ACM International Conference Proceeding Series* (School of Computing, Faculty of Engineering, Johor Bahru, 81310, Malaysia: Association for Computing Machinery, 2020), 158–162.

²⁵ H Hanum et al., “From Classes into Practices: The Impacts of Implementing SULAM in Public University on the Students,” in *AIP Conference Proceedings*, ed. Razak R.A. et al., vol. 2347 (Faculty of Applied Science and Humanity, Universiti Malaysia Perlis, Pusat Pengajian UniMAP, Kampus Jejawi, Perlis, Arau, 02600, Malaysia: American Institute of Physics Inc., 2021).

²⁶ L D Handoyo and P Suparno, “Service-Learning in Indonesia: The Benefits of Developing Students’ Characters in Higher Education,” *Academia (Greece)* 2020, no. 20–21 (2020): 138–153.

pelaksana kegiatan dengan mitra. Dalam kegiatan ini juga diberikan overview terkait kegiatan pengabdian bio-baterai ampas kopi yang disertai modul yang dilaksanakan dan bagaimana tahapan kegiatan pengabdian dilakukan.

Tahap pelatihan; tahap ini tim pelaksana telah mendapatkan perangkat bio-baterai yang telah diujicobakan keberfungsiannya dan telah mendapatkan modul. Selanjutnya dilakukan kegiatan pelatihan pada guru fisika yang tergabung dalam MGMP Fisika kota Tomohon. Riset riset yang telah dilakukan oleh ketua tim disampaikan pada tahap ini untuk memberikan informasi dan pengetahuan bagi mitra. Dalam kegiatan pelatihan ini juga guru diberikan penjelasan mengenai prinsip-prinsip dasar kerja alat dan fungsinya serta memberikan petunjuk umum penggunaan alat.

Tahap penerapan teknologi; Tahapan ini dilakukan dengan menerapkan prototipe bio-baterai berbahan ampas kopi. Pada tahapan penerapan teknologi, mitra diberi kesempatan untuk menggunakan dan mengujicoba alat yang telah dikembangkan oleh tim. Hal ini dimaksudkan agar guru dapat memberi umpan balik terhadap alat yang telah dikembangkan dan diharapkan juga guru dapat membuat prototipe serupa secara mandiri dengan alat dan bahan yang telah disiapkan oleh tim pelaksana. Selanjutnya guru secara mandiri mengembangkan prototipe serupa yakni prototipe bio-baterai ampas kopi, mitra dapat melakukan pengambilan data dan menganalisisnya. Modul yang telah dikembangkan juga dapat dimanfaatkan oleh mitra pada tahap ini.

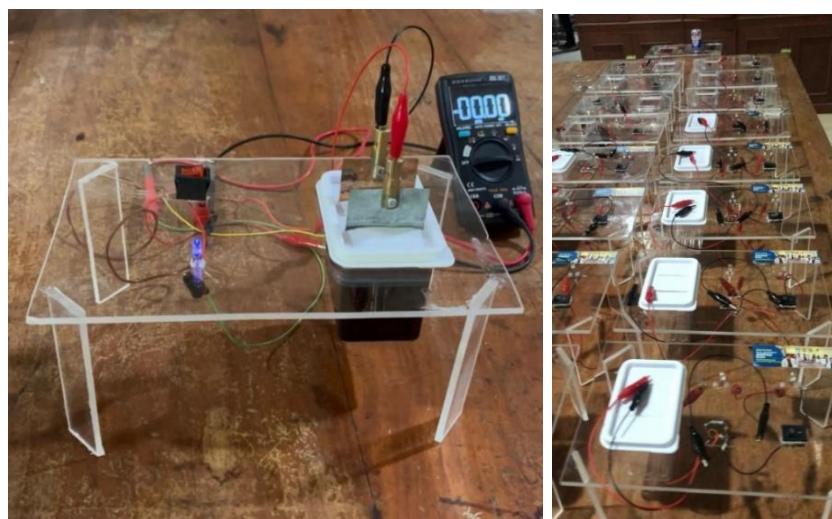
Tahap pendampingan dan evaluasi; tahapan pendampingan dan evaluasi dilakukan untuk mengevaluasi pemahaman mitra terkait pelaksanaan pengabdian yang telah dilakukan. Evaluasi dilakukan dengan memberikan angket kepada mitra. Angket diberikan sebanyak 2 kali yakni sebelum kegiatan pengabdian dan sesudah kegiatan pengabdian. Angket ini dimaksudkan untuk mengukur tingkat pemahaman mitra terkait kegiatan yang telah dilaksanakan. Evaluasi yang lain dilakukan pada keberfungsiannya alat yang telah dibuat oleh mitra secara mandiri dengan indikator didapatkannya nilai arus dan tegangan listrik pada bio-baterai. Terhadap alat yang dikembangkan mitra dan tidak berfungsi selanjutnya dilakukan pendampingan hingga alat dapat difungsikan dengan baik.

Tahap keberlanjutan program; tahap ini dilakukan untuk memastikan mitra menggunakan prototipe yang telah digunakan dalam pembelajaran, memantau keberfungsiannya alat, dan memantau mitra jika sekiranya mitra mengujicoba bahan lain sebagai bentuk perluasan dan pengembangan dari kegiatan pelatihan yang telah dilakukan. Tahap ini juga dilakukan untuk menjaga kolaborasi dan kerjasama dengan mitra untuk pengembangan prototipe dan modul yang lain yang sekiranya dapat dikembangkan bersama.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Kegiatan pengabdian terkait penerapan bio-baterai berbahan ampas kopi ini meliputi beberapa tahapan utama, yaitu pembuatan perangkat bio-baterai, pengujian kinerjanya, dan penerapannya dalam pembelajaran fisika. Pada tahap awal, ampas kopi yang didapatkan dari kedai melalui proses pengeringan. Beberapa percobaan dilakukan untuk menemukan formula yang paling efektif, termasuk variasi pada komponen elektrolit. Selanjutnya, bio-baterai ini diuji untuk mengetahui performa daya listrik yang dihasilkan, termasuk arus, tegangan dan efisiensi penyimpanan energi. Kemudian, perangkat bio-baterai ini diterapkan dalam pembelajaran fisika, melalui pelatihan guru fisika di kota Tomohon. Selanjutnya kegiatan dilakukan pada siswa di mana siswa terlibat aktif dalam percobaan.

Bio-baterai berbahan ampas kopi ini merupakan inovasi yang terdiri dari dua komponen utama: teknologi fisik (*hard technology*) dan teknologi perangkat lunak (*soft technology*). Aspek *hard technology* berupa perangkat bio-baterai melibatkan komponen elektroda, ampas kopi, elektrolit, dan struktur casing yang sederhana namun fungsional, memungkinkan baterai ini digunakan dalam eksperimen fisika. Produk prototipe ini ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Produk teknologi fisik berupa prototipe bio-baterai ampas kopi

Produk prototipe ini memiliki spesifikasi teknis seperti arus dan tegangan yang cukup untuk menyalaikan perangkat kecil berupa lampu LED, memberikan daya untuk penggunaan jangka pendek, dan telah dapat dan siap digunakan oleh siswa. Dokumentasi berupa foto pelaksanaan kegiatan oleh guru dan siswa ditunjukkan pada Gambar 4.



Gambar 4. Dokumentasi pelaksanaan praktikum bio-baterai oleh guru dan siswa

Aspek *soft technology*, modul pembelajaran fisika dikembangkan untuk melengkapi perangkat ini, berisi panduan eksperimen yang disusun untuk membantu siswa memahami konsep energi dan listrik dengan lebih nyata. Selain itu, ada panduan mengenai pemanfaatan limbah kopi sebagai upaya edukasi lingkungan. Produk berupa modul yang bahan ajar dan lembar kerja peserta didik (LKPD) ditunjukkan pada Gambar 5.



Gambar 5. Produk *soft technology* berupa modul yang bahan ajar dan LKPD

Penerapan Teknologi dan Inovasi serta Dampak Kepada Masyarakat

Siswa dan guru diajak dalam penerapan teknologi ini di sekolah untuk terlibat langsung dalam percobaan, meningkatkan pemahaman akan pentingnya energi terbarukan dan pengelolaan limbah organik. Pelibatan siswa dalam kegiatan percobaan bio-baterai ampas kopi secara langsung merujuk pada ciri pembelajaran abad ke-21 yang berfokus pada siswa, bersifat komunikatif, kolaboratif, dan kontekstual, dengan metode seperti proyek, diskusi, dan penilaian mandiri, serta memanfaatkan

teknologi untuk mendukung proses belajar²⁷. Dampak positif dari teknologi ini terlihat pada peningkatan persepsi siswa terhadap penggunaan modul yang terintegrasi dengan bio-baterai ampas kopi²⁸. Respon positif siswa tercermin melalui keterlibatan siswa secara aktif selama pelaksanaan kegiatan²⁹. Sejalan dengan itu, sejumlah studi menunjukkan bahwa penggunaan media dalam pembelajaran berkontribusi pada peningkatan pemahaman, keterlibatan peserta didik, kreativitas belajar, motivasi dan rangsangan kegiatan belajar^{30,31,32,33}. Teknologi ini mendorong peningkatan produktivitas pembelajaran fisika dengan menyediakan alat peraga yang inovatif dan mendidik tentang keberlanjutan lingkungan.

Kegiatan ini menghasilkan beberapa luaran antara lain laporan akhir yang mendokumentasikan seluruh tahapan dan evaluasi pelaksanaan program. Modul pembelajaran fisika mengenai energi terbarukan mencakup langkah-langkah eksperimen bio-baterai. Selain itu, terdapat publikasi dalam bentuk publikasi media baik cetak maupun elektronik. Produk akhir berupa prototipe bio-baterai juga berhasil diselesaikan dan digunakan sebagai alat peraga di sekolah, yang dapat dimanfaatkan oleh guru dan siswa untuk eksperimen lanjutan. Luaran-luaran ini menunjukkan bahwa program berhasil mencapai tujuan dan memberikan dampak positif baik secara teknis maupun dalam hal penyebarluasan pengetahuan kepada masyarakat. Luaran yang dicapai sesuai dengan target luaran dirangkum dalam Tabel 1.

Tabel 1. Target dan Capaian Luaran Pengabdian

| No. | Target luaran | Capaian Luaran |
|-----|--|--|
| 1 | a. Tersedianya prototipe bio-baterai ampas kopi yang didasarkan pada hasil penelitian; b. Modul pembelajaran materi | a. Prototipe bio-baterai ampas kopi telah dihasilkan b. Modul pembelajaran materi |

²⁷ Firdaus Firdaus et al., “PKM Kelompok Kerja Guru SD Kecamatan Garung Kabupaten Wonosobo Dalam Meningkatkan Kemampuan Guru Dalam Menciptakan Game Edukatif Berbasis Scratch” 6, no. 2 (n.d.): 250–266.

²⁸ Ishak Pawarangan et al., “Persepsi Siswa Terhadap Penggunaan Modul Praktikum Bio Baterai Dalam Pembelajaran Fisika Sma Materi Energi Terbarukan,” *Charm Sains: Jurnal Pendidikan Fisika* 5, no. 3 (2024): 99–105.

²⁹ Sapiruddin Sapiruddin et al., “Pelatihan Dan Pendampingan Implementasi Lesson Study Untuk Peningkatan Profesionalisme Guru Dan Keterampilan Berpikir Kritis Siswa Pada Pelajaran Fisika Di SMAN 1 Sakra” 8 (2024): 4525–4530.

³⁰ Ryan Gabriel Siringoringo and Muhamad Yanuar Alfaridzi, “Pengaruh Integrasi Teknologi Pembelajaran Terhadap Efektivitas Dan Transformasi Paradigma Pendidikan Era Digital,” *Jurnal Yudistira: Publikasi Riset Ilmu Pendidikan dan Bahasa* 2, no. 3 (2024): 66–76, <https://doi.org/10.61132/yudistira.v2i3.854>.

³¹ Firdaus et al., “PKM Kelompok Kerja Guru SD Kecamatan Garung Kabupaten Wonosobo Dalam Meningkatkan Kemampuan Guru Dalam Menciptakan Game Edukatif Berbasis Scratch.”

³² Aulia Naila Fauziah and Dwi Sulisworo, “Pembelajaran Fisika Dengan Memanfaatkan Teknologi Guna Meningkatkan Minat Belajar,” *Jurnal Genesis Indonesia* 1, no. 02 (2022): 79–86.

³³ Fitriah Fitriah et al., “Pengembangan Alat Peraga Fisika Berbasis Home Material Materi Suhu Dan Kalor,” *ORBITA: Jurnal Kajian, Inovasi dan Aplikasi Pendidikan Fisika* 6, no. 1 (2020): 196.

| No. | Target luaran | Capaian Luaran |
|-----|---|--|
| | <p>energi terbarukan;</p> <p>c. Peningkatan pengetahuan dan keterampilan mitra terkait penyusunan prototipe bio-baterai dan penggunaan modul materi energi terbarukan tercapai;</p> |  |
| | b. Modul pembelajaran telah berhasil dibuat | |
| | |  |
| | c. Mitra telah dapat mengembangkan alat serupa dengan bahan berbeda (ampas saguer/nira) | |
| | |  |
| 2 | Publikasi pada jurnal nasional terakreditasi Sinta | Artikel untuk publikasi masih berbentuk draft dan telah disubmit |
| 3 | Publikasi media massa elektronik pada media massa nasional Tribun Manado (manado.tribunnews.com); | <p>Telah berhasil dipublikasikan pada beberapa media :</p> <p>a. Cetak (tribun manado) edisi 11 Oktober 2024</p> |

| No. | Target luaran | Capaian Luaran |
|-----|---------------|----------------|
|-----|---------------|----------------|



- b. Elektronik (Tribun Manado, Bisnis Manado, dan Tribun Toraja)



- 4 Konten Video Pelaksanaan terpublikasi pada youtube official jurusan Fisika, UNIMA (<https://m.youtube.com/@officialfisikaunima>); dan

Video pelaksanaan telah terpublikasi pada youtube official jurusan Fisika, Unima

Official Fisika Unima

@officialfisikaunima • 84 subscriber • 17 video
Selengapnya tentang channel ini... selengapnya

Subscribe

Beranda Video Playlist

Video

- PROTOTYPE BIO-BATERAI AMPAS KOPI | 5.81
- Tim PKM Fisika Unima Kembangkan Media... | 8.16
- Green Entrepreneurship | Studium Generale #9 | 1.45.32

- 5 Modul panduan penyusunan dan penggunaan alat prototipe bio-baterai ampas kopi.

Telah dihasilkan modul penggunaan alat



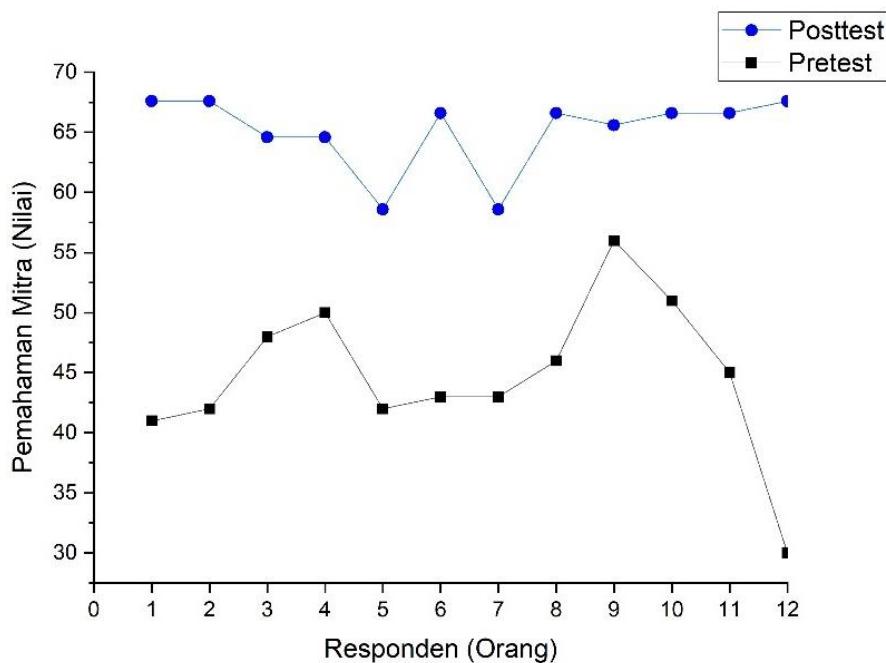
Pengukuran tingkat pemahaman mitra terhadap kegiatan pengabdian yang telah dilaksanakan dilakukan dengan memberikan daftar pertanyaan sebelum dan sesudah kegiatan pengabdian. Daftar pertanyaan dan jawaban respon mitra ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Daftar pertanyaan dan tanggapan mitra sebelum (B) dan sesudah (S) kegiatan

| Pertanyaan | Responden | | | | | | | | | | | |
|--|-----------|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
| | B | S | B | S | B | S | B | S | B | S | B | S |
| Sebelum/sesudah pelaksanaan kegiatan ini, menurut Bapak/Ibu seberapa penting materi Energi Terbarukan di sekolah. | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 2 | 4 | 5 | 5 | 4 | 5 |
| Sebelum/sesudah kegiatan ini, Seberapa familiar Bapak/Ibu dengan konsep konversi energi dari bahan organik seperti ampas kopi? | 1 | 5 | 2 | 5 | 3 | 4 | 3 | 5 | 4 | 4 | 4 | 5 |
| Sebelum/sesudah pelaksanaan kegiatan ini, apakah Ampas kopi sudah digunakan sebagai sumber energi listrik menjadi materi praktikum di sekolah | 1 | 5 | 1 | 5 | 1 | 3 | 1 | 3 | 1 | 4 | 1 | 5 |
| Sebelum/sesudah mengenal alat konversi energi ini, Siswa di sekolah telah memiliki pemahaman yang cukup tentang teknologi energi terbarukan | 3 | 5 | 4 | 5 | 4 | 5 | 4 | 4 | 4 | 5 | 4 | 5 |
| Sebelum/sesudah pelaksanaan kegiatan ini, Saya optimis alat prototipe bio-baterai akan efektif digunakan dalam pembelajaran praktikum. | 4 | 5 | 4 | 5 | 5 | 5 | 3 | 4 | 4 | 5 | 4 | 5 |
| Sebelum/sesudah pelaksanaan kegiatan, Saya percaya bahwa siswa akan mendapatkan manfaat yang signifikan dari penggunaan prototipe sebagai alat praktikum | 4 | 5 | 3 | 5 | 4 | 5 | 5 | 5 | 4 | 5 | 5 | 5 |
| Sebelum/sesudah pelaksanaan kegiatan, Saya percaya Alat konversi energi dapat diintegrasikan dengan baik dalam kurikulum pendidikan sekolah. | 4 | 5 | 3 | 5 | 4 | 5 | 5 | 4 | 4 | 4 | 5 | 5 |
| Sebelum/sesudah pelaksanaan kegiatan, Pengembangan lebih lanjut dari alat konversi energi ini sangat penting untuk menunjang pendidikan sains di sekolah | 4 | 5 | 4 | 5 | 4 | 5 | 5 | 4 | 4 | 4 | 5 | 5 |
| Sebelum/sesudah kegiatan ini, Saya tertarik untuk memanfaatkan prototipe dalam kegiatan praktikum sains (fisika) di sekolah | 4 | 5 | 5 | 5 | 4 | 5 | 4 | 5 | 4 | 5 | 5 | 5 |
| Sebelum/sesudah pelaksanaan kegiatan, Penggunaan prototipe memberikan kontribusi nyata terhadap pemahaman siswa tentang energi terbarukan di sekolah | 3 | 5 | 3 | 5 | 4 | 5 | 5 | 3 | 4 | 3 | 5 | 4 |

| Pertanyaan | Responden | | | | | | | | | | | |
|--|-----------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
| | B | S | B | S | B | S | B | S | B | S | B | S |
| Sebelum/sesudah pelaksanaan kegiatan, Pelatihan atau penjelasan terkait pengembangan prototipe sangat bermanfaat bagi Guru dan Siswa dalam pembelajaran Fisika di sekolah. | 4 | 5 | 5 | 5 | 5 | 4 | 5 | 4 | 5 | 3 | 4 | 5 |
| Sebelum/sesudah pelaksanaan kegiatan, Pelatihan atau penjelasan terkait penggunaan prototipe sangat bermanfaat bagi Guru dan Siswa dalam pembelajaran Fisika di sekolah. | 4 | 5 | 3 | 5 | 5 | 4 | 5 | 5 | 4 | 5 | 5 | 5 |
| Jumlah | 41 | 60 | 42 | 60 | 48 | 57 | 50 | 57 | 42 | 51 | 43 | 59 |
| | 56 | 58 | 51 | 59 | 45 | 59 | 30 | 60 | | | | |

Selanjutnya, 12 responden yang telah memberikan jawaban sebelum/*pretest* dan sesudah/*posttest* ditunjukkan pada Gambar 6.



Gambar 6. Pemahaman mitra sebelum/*pretest* dan sesudah/*posttest* pelaksanaan kegiatan

Tabel 2 menunjukkan bahwa tingkat pemahaman mitra sebelum pelaksanaan kegiatan untuk 12 responden masing-masing berturut-turut 41, 42, 48, 50, 42, 43, 43, 46, 56, 51, 45, 30 dan setelah dilakukan pelaksanaan kegiatan tingkat pemahaman mitra berturut-turut menjadi 60, 60, 57, 57, 59, 51, 59, 58, 59, 59, 60. Selanjutnya, Gambar 5 menunjukkan bahwa terdapat peningkatan pemahaman mitra setelah pelaksanaan kegiatan pada 12 responden (mitra). Pemahaman mitra sebelum pelaksanaan kegiatan berada pada rentang 30 sampai 56 dan meningkat menjadi 51 hingga

60 setelah pelaksanaan kegiatan pengabdian dilaksanakan. Peningkatan pengetahuan mitra menjadi indikator dampak positif pasca kegiatan pengabdian yang menjadi modal bagi mitra untuk mengembangkan dan menerapkan pembelajaran serupa didalam kelas. Selain luaran wajib seperti yang telah ditargetkan, terdapat luaran tambahan berupa didapatkannya hak cipta prototipe bio-baterai ampas kopi yang telah didapatkan dengan nomor dan tanggal permohonan EC002024204124, 11 Oktober 2024 seperti ditunjukkan pada Gambar 7.



Gambar 7. Hak cipta prototipe bio-baterai ampas kopi

Hasil pengabdian ini sejalan dengan hasil penelitian tentang media pembelajaran sains yang menunjukkan bahwa penggunaan media yang inovatif dan interaktif, seperti animasi dan kegiatan praktis, efektif dalam meningkatkan sikap ilmiah dan pemahaman siswa^{34;35;36;37}. Ini mendukung ide bahwa perangkat bio-baterai berbahan ampas kopi dapat menjadi alat pembelajaran yang menarik

³⁴ S Rahayuningsih, “Animation Media of Animal Husbandry Thematic Science Learning to Stimulate Scientific Attitude in Early Childhood,” *International Journal of Scientific and Technology Research* 9, no. 2 (2020): 5879–5882.

³⁵ Yuli Arnita Sari, “Penerapan Pembelajaran Berbasis Praktikum Untuk Meningkatkan Keterampilan Proses Sains Dan Sikap Ilmiah Siswa Smk Pada Materi Bakteri,” *SINAU: Jurnal Ilmu Pendidikan dan Humaniora* 6, no. 1 (2023): 8913–8926.

³⁶ K Khairunnisaq and K Fajariani, “Pengaruh Penggunaan Alat Praktikum IPA Terhadap Respon Emosional Siswa Terhadap Pembelajaran,” ... *Jurnal Pendidikan Dasar* 10 (2023): 94–98.

³⁷ Solikhah Isti Fadilah, Wahyu Surakusuma, and Yayan Sanjaya, “Pengaruh Kegiatan Merancang Alat Sederhana Dalam Praktikum Terhadap Penguasaan Konsep Dan Sikap Ilmiah Pada Materi Sistem Pernafasan SMA,” *Oryza (Jurnal Pendidikan Biologi)* 13, no. 1 (2024): 7–17.

dan edukatif bagi siswa SMA. Aktivitas praktis yang melibatkan proses produksi bioenergi dari limbah makanan, termasuk ampas kopi, telah digunakan dalam pendidikan untuk mengajarkan prinsip keberlanjutan lingkungan³⁸. Ini menunjukkan bahwa konsep serupa dapat diterapkan di tingkat SMA untuk mengajarkan fisika dan prinsip energi terbarukan. Penelitian tentang penggunaan ampas kopi dalam bioenergi dan media pembelajaran sains mendukung ide bahwa perangkat bio-baterai berbahan ampas kopi dapat menjadi alat pembelajaran yang efektif dan inovatif. Tidak ada bukti yang menunjukkan bahwa hasil pengabdian ini bertolakbelakang dengan penelitian terdahulu. Sebaliknya, penelitian terdahulu tentang ampas kopi dan media pembelajaran mendukung dan memperkuat konsep yang diusulkan dalam pengabdian ini.

Dengan demikian, penerapan perangkat bio-baterai berbahan ampas kopi sebagai media pembelajaran fisika di SMA di Kota Tomohon didukung oleh penelitian sebelumnya tentang penggunaan ampas kopi dalam bioenergi dan efektivitas media pembelajaran interaktif. Pada kegiatan pengabdian berikutnya diharapkan dapat dilakukan ekspansi penerapan teknologi ini ke sekolah-sekolah lain di sekitar Kota Tomohon atau di tempat lain, dengan mengadakan pelatihan bagi guru fisika untuk menggunakan modul dalam pembelajaran dikelas. Tindak lanjut terhadap potensi untuk bekerja sama dengan komunitas/kedai kopi atau instansi terkait dalam pengelolaan limbah kopi yang lebih berkelanjutan dan ramah lingkungan. Upaya ini diharapkan dapat memperluas manfaat dari teknologi ini tidak hanya di lingkungan sekolah tetapi juga di masyarakat sekitar sebagai langkah nyata dalam edukasi lingkungan dan pengelolaan limbah berbasis energi terbarukan.

KESIMPULAN

Kegiatan pengabdian ini telah berhasil menerapkan hasil riset berupa bio-baterai berbahan limbah ampas kopi dan menunjukkan bahwa teknologi ini efektif digunakan sebagai alternatif media pembelajaran fisika SMA materi energi terbarukan di Kota Tomohon. Indikator keberhasilan tampak dari meningkatnya pengetahuan mitra setelah pelaksanaan kegiatan pengabdian. Selain itu, bio-baterai yang dikembangkan telah mampu meningkatkan keterlibatan siswa dalam kegiatan pembelajaran melalui praktikum energi terbarukan. Hasil pengabdian ini memberikan indikasi peluang penggunaan dan pengembangan bio-baterai berbahan ampas kopi yang dapat diintegrasikan ke dalam kurikulum fisika SMA sebagai modul pembelajaran yang mencakup teori

³⁸ JJ Espada et al., “Integration of Sustainability Concepts in Environmental Engineering Teaching Through Activities Based on Audiovisual Tools,” in *Lecture Notes in Educational Technology*, vol. Part F2959 (Department of Chemical, Energy and Mechanical Technology. ESCET, Universidad Rey Juan Carlos, Madrid, Móstoles, 28933, Spain: Springer Science and Business Media Deutschland GmbH, 2024), 297–305.

dan praktik pembuatan bio-baterai.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Direktorat Riset, Teknologi, dan Pengabdian kepada Masyarakat (DRTPM) yang telah mendanai kegiatan pengabdian ini melalui Skema Pemberdayaan Berbasis Masyarakat dengan ruang lingkup Pemberdayaan Kemitraan Masyarakat tahun 2024 dengan nomor kontrak induk 032/E5/PG.02.00/PM.BATCH/2024.

DAFTAR REFERENSI

- Akhsan, Hamdi, Abidin Pasaribu, Murniati Murniati, Nely Andriani, Muhammad Muslim, and Melly Ariska. "Pelatihan Manajemen Laboratorium Fisika Untuk Guru Fisika Di MGMP Fisika Kabupaten Ogan Komering Ulu." *Bubungan Tinggi: Jurnal Pengabdian Masyarakat* 4, no. 4 (2022): 1331.
- Arif, Rifda Nur Hikmahwati, Salma Samputri, and Rifda Mardian Arif. "Perencanaan Pembelajaran Berdasarkan Peran MGMP Fisika SMA Negeri Se-Kota Banjarmasin." *NCOINS : National Conference Of Islamic Natural Science* (2021): 64–76.
- Arnita Sari, Yuli. "Penerapan Pembelajaran Berbasis Praktikum Untuk Meningkatkan Keterampilan Proses Sains Dan Sikap Ilmiah Siswa Smk Pada Materi Bakteri." *SINAU : Jurnal Ilmu Pendidikan dan Humaniora* 6, no. 1 (2023): 8913–8926.
- Espada, J J, R Rodríguez, G Vicente, and L F Bautista. "Integration of Sustainability Concepts in Environmental Engineering Teaching Through Activities Based on Audiovisual Tools." In *Lecture Notes in Educational Technology*, Part F2959:297–305. Department of Chemical, Energy and Mechanical Technology. ESCET, Universidad Rey Juan Carlos, Madrid, Móstoles, 28933, Spain: Springer Science and Business Media Deutschland GmbH, 2024.
- Fadilah, Solikhah Isti, Wahyu Surakusuma, and Yayan Sanjaya. "Pengaruh Kegiatan Merancang Alat Sederhana Dalam Praktikum Terhadap Penguasaan Konsep Dan Sikap Ilmiah Pada Materi Sistem Pernafasan SMA." *Oryza (Jurnal Pendidikan Biologi)* 13, no. 1 (2024): 7–17.
- Fathimah, Siti, Al Fathiyah, Binti Nasukah, Prodi Pendidikan, Bahasa Arab, Prodi Pendidikan, and Agama Islam. "Pembinaan Untuk Mengenali Dan Mengembangkan Potensi Diri Pada Generasi Z: Penerapan PKM Dengan Pendekatan Service Learning Di SMP-SMA Mumamadiyah Sumberpucuh Malang." *As-Sidanah: Jurnal Pengabdian Masyarakat* 6, no. 2 (2024): 362–382.
- Fauziah, Aulia Naila, and Dwi Sulisworo. "Pembelajaran Fisika Dengan Memanfaatkan Teknologi Guna Meningkatkan Minat Belajar." *Jurnal Genesis Indonesia* 1, no. 02 (2022): 79–86.
- Fernandes, A. S., F. V.C. Mello, S. Thode Filho, R. M. Carpes, J. G. Honório, M. R.C. Marques, I. Felzenszwalb, and E. R.A. Ferraz. "Impacts of Discarded Coffee Waste on Human and Environmental Health." *Ecotoxicology and Environmental Safety* 141 (2017): 30–36. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecoenv.2017.03.011>.
- Firdaus, Firdaus, Muhtar Sofwan Hidayat, Eli Trisnowati, Alviana Maya Sabilla, Firman Ade Purnomo, Dendi Nur Ahmad, Pendidikan Fisika, and Universitas Tidar. "PKM Kelompok Kerja Guru SD Kecamatan Garung Kabupaten Wonosobo Dalam Meningkatkan Kemampuan Guru Dalam Menciptakan Game Edukatif Berbasis Scratch" 6, no. 2 (n.d.): 250–

266.

- Fitriah, Fitriah, Linda Sekar Utami, Johri Sabaryati, and M. Isnaini. "Pengembangan Alat Peraga Fisika Berbasis Home Material Materi Suhu Dan Kalor." *ORBITA: Jurnal Kajian, Inovasi dan Aplikasi Pendidikan Fisika* 6, no. 1 (2020): 196.
- Gumelar, Bawono Widyo, Indah Widiastuti, and Danar Susilo Wijayanto. "Pembelajaran Energi Terbarukan Untuk Sekolah Dasar Studi Kasus Di Kabupaten Klaten." *Jurnal Ilmiah Pendidikan Teknik dan Kejuruan* 11, no. 1 (2019): 16.
- Haliq, Ridhwan, I. Komang Judith Aryaraditya Prawira, and Andi Idhil Ismail. "Utilization of Spent Coffee Grounds with Hydrochloric Acid (HCl) as Electrolyte for Bio-Battery Applications." *Defect and Diffusion Forum* 421 (2022): 121–131.
- Haliq, Ridhwan, Kelvin Kan, and Idhil Ismail. "Utilization of Spent Coffee Grounds with Sodium Hydroxide (NaOH) as Electrolyte for Applications Bio-Battery." *Defect and Diffusion Forum* 421 (2022): 111–120.
- Handoyo, L D, and P Suparno. "Service-Learning in Indonesia: The Benefits of Developing Students' Characters in Higher Education." *Academia (Greece)* 2020, no. 20–21 (2020): 138–153.
- Hanum, H, M S A Farhan, A H N Ashikin, M N M Faiz, S.S.S.D. Naqiyah, A H Rosniza, and H Hasnah. "From Classes into Practices: The Impacts of Implementing SULAM in Public University on the Students." In *AIP Conference Proceedings*, edited by Razak R.A., Abdullah M.M.A.B., Rahim S.Z.A., Tahir M.F.M., Mortar M.A.M., and Jamaludin L. Vol. 2347. Faculty of Applied Science and Humanity, Universiti Malaysia Perlis, Pusat Pengajian UniMAP, Kampus Jejawi, Perlis, Arau, 02600, Malaysia: American Institute of Physics Inc., 2021.
- International Coffee Organization (ICO). "Coffee Market Report," 2024. <https://www.icocoffee.org/documents/cy2023-24/cmr-0524-e.pdf>.
- Irawati, Fenny, Fitri Dwi Kartikasari, and Elieser Tarigan. "Pengenalan Energi Terbarukan Dengan Fokus Energi Matahari Kepada Siswa Sekolah Dasar Dan Menengah." *Publikasi Pendidikan* 11, no. 2 (2021): 164.
- Khairunnisa, K, and K Fajariani. "Pengaruh Penggunaan Alat Praktikum IPA Terhadap Respon Emosional Siswa Terhadap Pembelajaran." ... *(Jurnal Pendidikan Dasar)* 10 (2023): 94–98.
- Kourmentza, C., Ch N. Economou, P. Tsafrikidou, and M. Kornaros. "Spent Coffee Grounds Make Much More than Waste: Exploring Recent Advances and Future Exploitation Strategies for the Valorization of an Emerging Food Waste Stream." *Journal of Cleaner Production* 172 (2018): 980–992. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.10.088>.
- Kristianti, Tri, Aulia Rahman Oktaviansyah, Febriana Anisa Putri, Teknik Elektro, Universitas Wisnuwardhana Malang, Jawa Timur, Teknik Sipil, Universitas Wisnuwardhana Malang, and Jawa Timur. "Implementation of Service-Learning Method As the Impactful Learning Strategy in Basic Education." *As-Sidanah: Jurnal Pengabdian Masyarakat* 5, no. 2 (2023): 328–341.
- Najri, Pauzan. "MGMP Dalam Meningkatkan Keprofesionalan Guru Mata Pelajaran." *AKTUALITA jurnal penelitian sosial dan keagamaan* 10, no. 1 (2020): 130–144. www.ejournal.annadwahkualatungkal.ac.id.
- Pawarangan, Ishak, and Wilson Jefriyanto. "Identification of Electrical Properties of Bio-Battery Based on Spent Coffee Grounds." *Buletin Fisika* 23, no. 2 (2022): 92–96.
- Pawarangan, Ishak, Martina Pineng, and Saiful Achmad Anum. "The Electrical Productivity of

- Arabica Coffee Grounds Battery Based on Electrode Distance and Dryness Level.” *Jurnal Riset dan Kajian Pendidikan Fisika* 9, no. 1 (2022): 1–8.
- Pawarangan, Ishak, Fajar P. Pongsapan, Wilson Jefriyanto, Martina Pineng, Dwi P. Tana, and Saiful A. Anum. “Spent Coffee Grounds and Its Potential Applications for Electronic Devices: A Review.” *AIP Conference Proceedings* 2542, no. November (2022): 050014-1-050014-5.
- Pawarangan, Ishak, D Prasetya Thana, Wilson Jefriyanto, and ... “Analisis Struktur Morfologi Dan Gugus Fungsi Serbuk Kopi Robusta Toraja.” *Fullerene Journal of ...* 8, no. 1 (2023): 21–26.
- Pawarangan, Ishak, Widya Anjelia Tumewu, Vicky Julius Mawuntu, and Igryea Mitchel Kumendong. “Persepsi Siswa Terhadap Penggunaan Modul Praktikum Bio Baterai Dalam Pembelajaran Fisika Sma Materi Energi Terbarukan.” *Charm Sains: Jurnal Pendidikan Fisika* 5, no. 3 (2024): 99–105.
- Pawarangan, Ishak, Widya Anjelia Tumewu, Vicky Julius Mawuntu, Igryea Kumendong, and Sayenne Pungus. “The Effect of KOH Molarity Concentration on The Electrical Properties of Spent Coffee Grounds Bio-Battery.” *Jurnal Sosiced* 7, no. 2 (2024).
- Rahayuningsih, S. “Animation Media of Animal Husbandry Thematic Science Learning to Stimulate Scientific Attitude in Early Childhood.” *International Journal of Scientific and Technology Research* 9, no. 2 (2020): 5879–5882.
- Rini, Dianiar Setyo, Fitria Pusaprini, Nailul Rahmi Aulya, Annisa Ramadhani, and Ade Nurul Hikmah. “Pemanfaatan Sampah Ampas Kopi Sebagai Media Pembelajaran Dalam Bentuk Coffee Clay.” *Jurnal Solma* 13, no. 3 (2024): 2965–2975.
- Sapiruddin, Sapiruddin, Baiq Aryani Novianti, Khaerus Syahidi, and Tsamarul Hizbi. “Pelatihan Dan Pendampingan Implementasi Lesson Study Untuk Peningkatan Profesionalisme Guru Dan Keterampilan Berpikir Kritis Siswa Pada Pelajaran Fisika Di SMAN 1 Sakra” 8 (2024): 4525–4530.
- Siringoringo, Ryan Gabriel, and Muhamad Yanuar Alfaridzi. “Pengaruh Integrasi Teknologi Pembelajaran Terhadap Efektivitas Dan Transformasi Paradigma Pendidikan Era Digital.” *Jurnal Yudistira: Publikasi Riset Ilmu Pendidikan dan Bahasa* 2, no. 3 (2024): 66–76. <https://doi.org/10.61132/yudistira.v2i3.854>.
- Sulaiman, S, S J M Shahrol, and A R A Samad. “Service Learning in Application Development Course: A Case Study of a Rural Community Engagement.” In *ACM International Conference Proceeding Series*, 158–162. School of Computing, Faculty of Engineering, Johor Bahru, 81310, Malaysia: Association for Computing Machinery, 2020.
- Thana, Dwi Prasetyawati, Ishak Pawarangan, Wilson Jefriyanto, Martina Pineng, Eko Suripto Pasinggi, Rali Sarira Bone, Yosep Mari’, and Conny Conny. “Morphological Structure and Functional Group of Toraja Robusta and Arabica Spent Coffee Grounds for Electronic Device Applications.” *Jurnal Riset dan Kajian Pendidikan Fisika* 10, no. 1 (2023): 22–27.
- Tohir, Mohammad. “Peningkatan Kompetensi Guru Pembina Pertama Kabupaten Madiun.” *Jurnal Pengabdian Masyarakat As-sidanah* 1, no. 2 (2019): 199–226.
- Yusmar, Firdha, and Rizka Elan Fadilah. “Analisis Rendahnya Literasi Sains Peserta Didik Indonesia: Hasil Pisa Dan Faktor Penyebab.” *LENSA (Lentera Sains): Jurnal Pendidikan IPA* 13, no. 1 (2023): 11–19.