

Peningkatan Literasi Sains Dan Teknologi Siswa Melalui Pjbl Fisika Berbasis Kearifan Lokal Di Sma Negeri 1 Dimembe

Jeilen Gabriela Nikita Nusa*¹, Ishak Pawarangan², Krista Pingkan Mantiri³, Marcellino Christofel Mambu⁴

^{1,2} Fisika, FMIPA-K Universitas Negeri Manado

³ Biologi FMIPA Universitas Samratulangi

⁴ Ilmu Lingkungan, Pascasarjana Universitas Negeri Gorontalo

*e-mail: jeilennusa@unima.ac.id

Abstract

This community service program aimed to enhance students' science and technology literacy through the implementation of physics Project-Based Learning (PjBL) integrated with local wisdom by utilizing coffee grounds as a bio-battery prototype. The program was conducted with Grade XI students at SMA Negeri 1 Dimembe using a service-learning approach consisting of preparation, implementation, and evaluation stages. Data were collected through pretest-posttest assessments, classroom observations, and evaluations of student activities, and subsequently analyzed using descriptive quantitative techniques. The results demonstrated a significant improvement in students' learning outcomes, indicated by an increase in scores from 20–55 in the pretest to 60–95 in the posttest. Furthermore, the program contributed to the development of students' collaboration, communication, and problem-solving skills, as well as increased environmental awareness through the utilization of local organic waste as an alternative energy source. These findings indicate that the implementation of local wisdom-based PjBL provides contextual and meaningful learning experiences that support the strengthening of students' science and technology literacy.

Keywords: project-based learning, science and technology literacy, local wisdom, renewable energy education, bio-battery.

Abstrak

Kegiatan pengabdian kepada masyarakat ini bertujuan meningkatkan literasi sains dan teknologi siswa melalui implementasi Project-Based Learning (PjBL) fisika berbasis kearifan lokal dengan pemanfaatan ampas kopi sebagai bio-baterai. Kegiatan dilaksanakan pada siswa kelas XI SMA Negeri 1 Dimembe melalui tahapan persiapan, pelaksanaan, dan evaluasi dengan pendekatan service learning. Data diperoleh melalui pretest-posttest, observasi, dan evaluasi aktivitas siswa, kemudian dianalisis secara deskriptif kuantitatif. Hasil kegiatan menunjukkan adanya peningkatan kemampuan siswa dari rentang skor awal 20–55 menjadi 60–95 pada tes akhir. Selain itu, siswa menunjukkan peningkatan motivasi belajar, keterampilan kolaborasi dan komunikasi, serta kepedulian terhadap lingkungan melalui pemanfaatan limbah lokal sebagai sumber energi alternatif. Implementasi PjBL berbasis kearifan lokal terbukti mampu menciptakan pembelajaran yang kontekstual dan mendukung penguatan literasi sains dan teknologi siswa.

Kata kunci: Project-Based Learning, literasi sains dan teknologi, kearifan lokal, energi terbarukan, bio-baterai.

1. PENDAHULUAN

Sebagai salah satu sekolah di Kabupaten Minahasa Utara, SMA Negeri 1 Dimembe memiliki berbagai potensi dalam bidang akademik dan pengembangan keterampilan siswa. Namun, sekolah ini juga menghadapi beberapa tantangan, terutama dalam penerapan metode pembelajaran inovatif yang dapat meningkatkan literasi sains dan teknologi siswa. Literasi sains merupakan isu fundamental dalam pendidikan abad ke-21, terutama di negara berkembang seperti Indonesia. Keterampilan ini meliputi kemampuan peserta didik untuk memahami, mengevaluasi, dan menerapkan pengetahuan ilmiah dalam konteks sehari-hari, menjadi kunci untuk menghadapi tantangan kompleks sosial, lingkungan, dan ekonomi di era digital (Pertiwi et al., 2018; Nurhasanah et al., 2020). Namun, data dari asesmen internasional seperti PISA menunjukkan bahwa siswa Indonesia masih menghadapi tantangan signifikan dalam literasi

sains, dengan skor rata-rata 371 dan peringkat ke-72 dari 78 negara pada tahun 2018 (Pulungan et al., 2023). Masalah ini menyoroti perlunya reformasi dalam pedagogi dan kurikulum agar literasi sains dapat ditingkatkan (Robbia & Fuadi. 2020; Nurhasanah et al. 2020). Sebagai contoh, implementasi metode pembelajaran berbasis proyek dan penggunaan media multimedia dapat meningkatkan keterlibatan siswa dan pemahaman mereka terhadap sains (Robbia & Fuadi, 2020; Aqil (2017).

Berdasarkan observasi awal dan data yang tersedia, beberapa permasalahan utama yang dihadapi oleh SMA Negeri 1 Dimembe dalam konteks literasi sains dan teknologi adalah: Pembelajaran di sekolah ini masih didominasi oleh metode konvensional, yaitu ceramah dan diskusi. Meskipun metode ini tetap memiliki nilai edukatif, penelitian menunjukkan bahwa pendekatan pembelajaran berbasis proyek (Project-Based Learning/PjBL) lebih efektif dalam meningkatkan pemahaman konsep sains dan teknologi serta keterampilan berpikir kritis siswa (Nusa et al., 2023). Penerapan model PjBL dalam pembelajaran vulkanologi di tingkat perguruan tinggi dapat meningkatkan hasil belajar mahasiswa (Nusa, 2018). Oleh karena itu, pendekatan yang sama dapat diterapkan di tingkat sekolah menengah untuk meningkatkan pemahaman kontekstual di SMA Negeri 1 Dimembe.

Dalam konteks pembelajaran fisika, materi energi terbarukan merupakan topik yang sangat penting dan relevan, khususnya dalam mempersiapkan generasi muda untuk menghadapi tantangan ketahanan energi di masa depan. Penelitian menunjukkan bahwa pengajaran materi tersebut masih kurang optimal di beberapa sekolah, termasuk di SMA Negeri 1 Dimembe, Kabupaten Minahasa Utara (Yulianti et al., 2019). Untuk meningkatkan pemahaman siswa, diperlukan metode pengajaran kontekstual yang dapat membantu siswa memahami konsep yang bersifat abstrak (Gumelar et al., 2018). Metode ini juga memfasilitasi siswa dalam mengidentifikasi dan menganalisis masalah ketersediaan energi di lingkungan mereka, serta merancang solusi praktis, seperti alat penghasil energi sederhana (Sari et al., 2021; Anwar et al., 2020). Penekanan terhadap pendekatan kontekstual juga diharapkan dapat meningkatkan keterlibatan siswa dalam pembelajaran dan memberikan pemahaman yang lebih dalam tentang pentingnya energi terbarukan dalam kehidupan sehari-hari (Fitrah et al., 2022).

Masyarakat Dimembe memiliki karifan lokal yang sangat unik, termasuk budaya orang Minahasa yang masih menikmati atau konsumsi minum kopi yang tinggi, bahkan masih ada area perkebunan yang di tanami tanaman kopi. Merujuk dari organisasi Kopi Internasional per mei 2024 mendeskripsikan ditahun 2023/2024 konsumsi kopi mencapai 177,1 juta kantong (60 gk/kantong) (Kourmentza et al.,2018). Dari hasil penelitian menunjukkan dalam 100 kg bubuk kopi terdapat sekitar 90% ampas kopi yang tidak habis di konsumsi manusia dan akan menjadi limbah di lingkungan.

Dalam konteks pengurangan limbah, penerapan proyek praktik langsung yang menggunakan bahan lokal, seperti ampas kopi, untuk menghasilkan energi terbarukan menjadi alternatif yang efektif. Sebagai contoh, pengembangan biobaterai berbasis ampas kopi menunjukkan integrasi antara keberlanjutan, sains, dan budaya lokal (Wijayanti et al., 2023). Proyek berbasis PjBL (Project-Based Learning) ini tidak hanya berkontribusi pada peningkatan literasi sains dan teknologi, tetapi juga mengembangkan keterampilan pemecahan masalah serta meningkatkan kesadaran lingkungan siswa. Ini sejalan dengan inisiatif Merdeka Belajar yang bertujuan untuk membuat pembelajaran lebih kontekstual dan relevan (Sulastri et al., 2022; Rahmawati et al., 2021).

Meskipun berbagai penelitian telah melaporkan efektivitas *Project-Based Learning* (PjBL) dalam meningkatkan literasi sains dan hasil belajar peserta didik, implementasi PjBL yang terintegrasi dengan kearifan lokal berbasis pemanfaatan limbah organik sebagai media pembelajaran energi terbarukan masih terbatas, khususnya pada kegiatan pengabdian di tingkat sekolah menengah. Selain itu, sebagian besar pembelajaran fisika masih berorientasi pada pendekatan teoritis dan belum banyak mengaitkan konsep energi terbarukan dengan potensi lokal yang dekat dengan kehidupan peserta didik. Oleh karena itu, program pengabdian ini difokuskan pada implementasi PjBL fisika berbasis kearifan lokal melalui pemanfaatan ampas kopi sebagai prototipe bio-baterai untuk mendukung penguatan literasi sains dan teknologi siswa di SMA Negeri 1 Dimembe.

2. METODE

Program pengabdian ini menggunakan metode *service learning* yang diintegrasikan dengan desain one group pretest-posttest untuk mengevaluasi peningkatan literasi sains dan teknologi siswa setelah implementasi *Project-Based Learning* (PjBL) berbasis kearifan lokal. Kegiatan dilaksanakan pada 14 siswa kelas XI SMA Negeri 1 Dimembe. Metode ini efektif dalam menghubungkan pembelajaran akademik dengan pengalaman praktis di lapangan (Benson et al., 2019). Pengumpulan data dilakukan melalui pretest dan posttest, observasi aktivitas siswa, serta dokumentasi kegiatan. Data hasil tes dianalisis menggunakan teknik deskriptif kuantitatif melalui perhitungan rata-rata dan persentase peningkatan hasil belajar siswa, sedangkan data observasi dianalisis secara deskriptif untuk menggambarkan keterlibatan dan respons siswa selama kegiatan berlangsung.

Pada tahap persiapan, tim pengabdian akan melakukan analisis kebutuhan dan pengumpulan data dasar untuk memahami konteks lokal. Pelaksanaan terdiri dari kegiatan belajar mengajar yang melibatkan siswa dan masyarakat dalam proyek berbasis sains, di mana siswa dapat menerapkan ilmu fisika dan kearifan lokal (Muhammad & Umam, 2022). Evaluasi bertujuan untuk mengukur efektivitas metode yang digunakan dalam meningkatkan literasi sains serta dampaknya terhadap komunitas (Fauzi & Marwan, 2021). Bahan yang disiapkan meliputi alat eksperimen biobatrei berbahan lokal seperti ampas kopi.

Dalam tahapan pelaksanaan proyek, metodologi pengajaran yang digunakan terdiri dari dua model utama yaitu sesi ceramah dan diskusi serta praktik langsung terkait biobaterai. Pendekatan ganda ini bertujuan untuk menyeimbangkan pemahaman konseptual dengan pengalaman praktis, yang esensial untuk transisi dari pemahaman teoretis menuju aplikasi nyata (Rediani, 2024; Wisran et al., 2025).

Sesi pemaparan teori diajarkan oleh Tim Pengabdian, yang meliputi dosen dan mahasiswa, yang memfasilitasi pengenalan konsep literasi sains dan teknologi, prinsip *Project-Based Learning* (PjBL), dan dasar-dasar energi terbarukan. Siswa kemudian dikelompokkan untuk merancang dan membangun biobaterai dari limbah kopi, aktivitas yang dipilih karena relevansinya terhadap kearifan lokal dan isu lingkungan (Yatim et al., 2023). Melalui kegiatan ini, siswa diajarkan pentingnya pemecahan masalah kolaboratif dan tanggung jawab terhadap proses desain, mencerminkan prinsip Merdeka Belajar.

Tahap evaluasi mengintegrasikan pengukuran dimensi kognitif dan non-kognitif, dengan instrumen yang digunakan termasuk asesmen standar untuk menguji penerapan konsep sains, analisis data, dan kapasitas bernalar berbasis bukti. Selain itu, asesmen formatif diterapkan untuk memberikan umpan balik berkelanjutan dan mendukung perbaikan program ke depannya (Kusumawati & Refiyanto, 2022; Arifianto, 2021).

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Penerapan PjBL pada pembelajaran fisika menghasilkan peningkatan nyata keterlibatan dan antusiasme siswa. Di kelas, siswa menunjukkan rasa ingin tahu dan partisipasi aktif yang lebih tinggi, terutama saat bereksperimen langsung membuat biobaterai dari ampas kopi seperti ditunjukkan pada gambar 1. Temuan ini sejalan dengan riset Asia Tenggara yang menunjukkan PjBL mendorong motivasi dan interaksi lebih dalam dengan konten sains (Almulla, 2020). Dalam konteks reformasi pendidikan Indonesia, hasil ini menguatkan bukti bahwa PjBL membuat fisika lebih mudah diakses dan bermakna lewat pengalaman (Pratami et al., 2024; Kristiawan et al., 2021). Antusiasme juga tercermin dari kemauan mengeksplorasi konsep baru dan bertahan melalui proses eksperimen. Literatur motivasi fisika menegaskan pembelajaran pengalaman meningkatkan minat dan retensi konsep (Ferrero et al., 2021).



Gambar 1. Mitra sedang merakit alat Prototype Bio-Battrei,

Penerapan Project-Based Learning (PjBL) dalam pembelajaran fisika terbukti menghasilkan peningkatan disiplin dan tanggung jawab siswa. Siswa menunjukkan konsistensi dalam mengikuti prosedur laboratorium dan menjaga alat serta bahan yang digunakan (Patriot & Laksono, 2024; Herliana et al., 2021). Temuan ini sejalan dengan literatur yang menunjukkan bahwa PjBL dapat meningkatkan regulasi diri dan kepemilikan siswa terhadap tugas belajar, yang pada gilirannya mengembangkan sikap ilmiah seperti ketekunan, ketelitian, dan akuntabilitas (Suryandai et al., 2022; Wulandari et al., 2021). Siswa juga lebih proaktif dalam mengelola pekerjaan mereka dan berkontribusi secara bertanggung jawab dalam tim, yang mencerminkan manajemen kelas yang lebih baik dan kolaborasi yang ditingkatkan (Berge et al., 2019; Widiastuti & Silvanus, 2023).



Gambar 2. Mitra melakukan percobaan.

Partisipasi aktif siswa dalam proyek biobaterai, di mana mereka merumuskan hipotesis, merancang eksperimen, dan menafsirkan data, menciptakan lingkungan belajar yang mendukung berpikir kritis—sebagian besar elemen penting dari PjBL (Rediani, 2024; Wisran et al., 2025). Selain itu, penggunaan bahan lokal memperkuat relevansi kultural dalam pemecahan masalah, membantu siswa memahami fisika sebagai pengetahuan aplikatif yang bernilai bagi masyarakat (Kristyowati & Purwanto, 2019; Useche & Hurtado, 2025). Dengan demikian, penelitian ini menunjukkan bahwa PjBL tidak hanya meningkatkan keterampilan akademis siswa tetapi juga memfasilitasi pertumbuhan sikap ilmiah yang positif, yang penting untuk keberlanjutan hasil belajar.

Suasana kelas saat pembelajaran PjBL sangat kondusif untuk kolaborasi, di mana siswa lebih terbuka untuk berpartisipasi, saling menghargai, dan mendukung satu sama lain. Penelitian

menunjukkan bahwa iklim positif dalam kelas sangat penting untuk keberhasilan PjBL, karena hal ini dapat meningkatkan motivasi dan sense of ownership dalam pembelajaran (Setiyadi & Loviansi, 2020; Juniardi et al., 2024). Ketekunan siswa dalam mengeksplorasi fisika di luar kelas mencerminkan motivasi yang meningkat, sejalan dengan temuan bahwa pengalaman belajar dapat menumbuhkan minat yang berkelanjutan (Fiksl et al., 2017; Goagoses et al., 2023).

Sikap positif terhadap sains juga terlihat ketika siswa mampu mengaitkan konsep fisika dengan aplikasi nyata yang memiliki makna bagi mereka (Fang & Teo, 2021; Useche & Hurtado, 2025). Pendekatan kolaboratif dalam pembelajaran tidak hanya memperkaya pengalaman siswa, tetapi juga mendorong interaksi sosial yang positif, yang penting untuk pembelajaran yang berkelanjutan dan berarti.



Gambar 3. Suasana Kelas Saat Kegiatan Praktikum.

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 elektronik. Luaran-luaran ini menunjukkan bahwa program berhasil mencapai tujuan dan memberikan dampak positif baik secara teknis maupun dalam hal penyebaran 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	Peningkatan pengetahuan dan keterampilan mitra terkait penyusunan prototipe bio-baterai dan penggunaannya dalam materi energi terbarukan tercapai;	 Mitra dapat mengembangkan alat serupa dengan bahan berbeda (ampas kelapa)
2	Publikasi pada jurnal nasional terakreditasi Sinta	Artikel untuk publikasi masih berbentuk draft dan telah disubmit
3	Publikasi media Elektronik.	Telah berhasil dipublikasikan pada beberapa media Cetak Elektronik edisi 4 September 2025



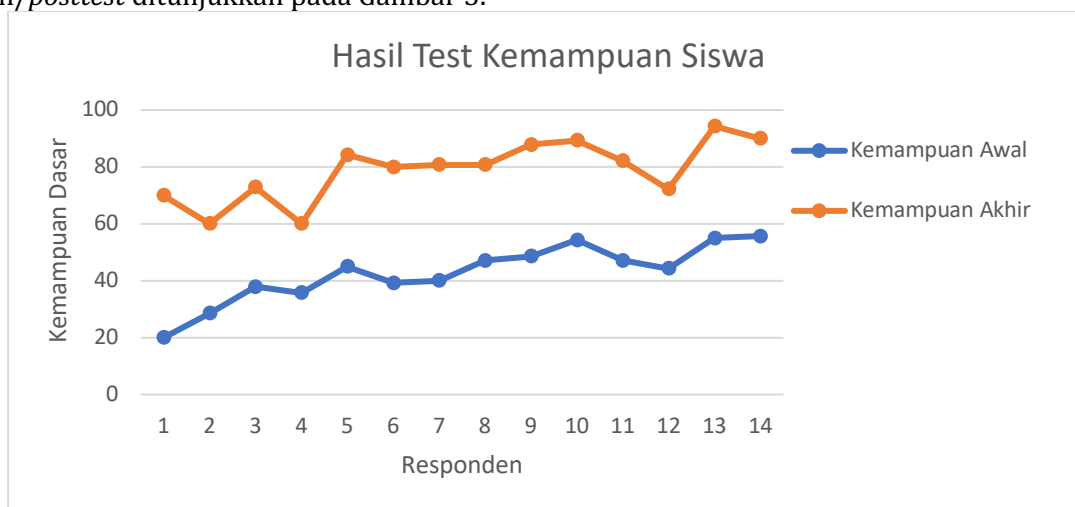
Pengukuran tingkat pemahaman mitra terhadap kegiatan pengabdian yang telah dilaksanakan dilakukan dengan memberikan daftar pertanyaan sebelum dan sesudah kegiatan pengabdian. Daftar pertanyaan dan jawaban respon mitra ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Daftar pertanyaan dan respon siswa sebelum (B)dan sesudah (S) kegiatan pengabdian.

Pernyataan (Disingkat)	Mean	Kategori
Mengetahui konsep energi terbarukan	4,00	Baik
Mengetahui limbah organik sebagai sumber energi	4,14	Baik
Pernah mengetahui konsep bio-baterai	3,50	Baik
Tertarik mempelajari energi terbarukan	3,93	Baik
Pembelajaran meningkatkan rasa ingin tahu	4,21	Sangat Baik
Antusias selama praktikum	4,14	Baik
Memahami konsep energi terbarukan	4,00	Baik
Memahami aplikasi energi hijau	3,93	Baik
Mampu menjelaskan prinsip kerja bio-baterai	3,43	Baik
Materi relevan dengan isu lingkungan	4,00	Baik
Melihat potensi ampas kopi sebagai energi alternatif	4,07	Baik
Memahami hubungan sains dan lingkungan	4,14	Baik
Aktif selama praktikum	4,07	Baik
Praktikum mendorong kreativitas	4,21	Sangat Baik
Metode praktik lebih menarik daripada teori	4,29	Sangat Baik
Instruksi kegiatan mudah dipahami	4,07	Baik
Kesadaran tentang energi terbarukan meningkat	4,29	Sangat Baik
Lebih peduli terhadap lingkungan	4,29	Sangat Baik
Ingin menerapkan pengetahuan pada proyek lain	4,00	Baik
Pembelajaran mengintegrasikan kearifan lokal dan sains	4,14	Baik
Menyadari relevansi kearifan lokal	4,29	Sangat Baik
Terinspirasi melestarikan kearifan lokal	4,21	Sangat Baik
Bangga memanfaatkan potensi lokal	4,14	Baik
PJBL membuat pembelajaran lebih menarik	4,14	Baik
PJBL meningkatkan kolaborasi	4,14	Baik
PJBL lebih efektif daripada pembelajaran konvensional	4,07	Baik
PJBL mendukung kreativitas (Merdeka Belajar)	4,21	Sangat Baik
Bersedia membagikan pengetahuan kepada orang lain	4,21	Sangat Baik

Pernyataan (Disingkat)	Mean	Kategori
Rata-rata keseluruhan	4,09	Baik

Selanjutnya, 12 responden yang telah memberikan jawaban sebelum/*pretest* dan sesudah/*posttest* ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Hasil test kemampuan dasar (%) peserta pelatihan peningkatan literasi sains dan teknologi yang diuji pada awal dan akhir kegiatan pengabdian.

Hasil pretest dan posttest menunjukkan adanya peningkatan kemampuan siswa setelah implementasi Project-Based Learning (PjBL) berbasis kearifan lokal. Peningkatan tersebut terlihat dari kenaikan skor siswa pada seluruh indikator literasi sains dan teknologi. Secara umum, nilai siswa mengalami peningkatan dari kategori rendah pada pretest menjadi kategori sedang hingga tinggi pada posttest. Hasil ini menunjukkan bahwa pembelajaran berbasis proyek yang kontekstual mampu membantu siswa memahami konsep fisika secara lebih aplikatif melalui pengalaman belajar langsung. Berdasarkan Gambar 3, skor kemampuan awal berada pada rentang 20–55, sedangkan skor kemampuan akhir meningkat ke rentang 60–95 pada seluruh 14 responden. Perbedaan posisi kedua kurva—dengan kurva kemampuan akhir secara konsisten berada di atas kurva kemampuan awal—mengindikasikan adanya perbaikan kompetensi yang merata. Peningkatan paling menonjol terlihat pada beberapa responden (mis. 5, 9, dan 13) yang mencapai skor akhir mendekati 90–95, menunjukkan bahwa sebagian peserta didik tidak hanya mengalami kemajuan, tetapi juga mampu mencapai tingkat penguasaan yang tinggi. Meskipun tampak fluktuasi antarindividu, tidak ditemukan kasus stagnasi; setiap siswa memperlihatkan kenaikan skor, yang menegaskan bahwa intervensi memiliki daya jangkau terhadap beragam titik awal kemampuan. Secara teoretis, temuan ini mendukung kerangka bahwa pembelajaran yang terstruktur dan responsif terhadap kebutuhan peserta didik dapat mendorong peningkatan hasil belajar secara signifikan. Secara praktis, data mengisyaratkan perlunya mempertahankan strategi pengajaran yang digunakan, seraya melakukan penyesuaian diferensiatif untuk siswa yang peningkatannya relatif moderat. Ke depan, penelitian lanjutan disarankan untuk menambahkan pengukuran inferensial (misalnya uji statistik) dan kontrol terhadap variabel perancu (seperti kehadiran, motivasi, dan dukungan belajar), sehingga efektivitas intervensi dapat dinilai lebih kuat secara kausal. Dengan demikian, bukti deskriptif ini memberikan dasar yang kokoh bagi pengambilan keputusan pedagogis dan perancangan program peningkatan kompetensi siswa.

4. KESIMPULAN

Implementasi Project-Based Learning (PjBL) fisika berbasis kearifan lokal melalui pemanfaatan ampas kopi sebagai bio-baterai mampu meningkatkan literasi sains dan teknologi siswa di SMA Negeri 1 Dimembe. Peningkatan tersebut terlihat dari hasil pretest dan posttest serta keterlibatan aktif siswa selama kegiatan berlangsung. Selain meningkatkan pemahaman konsep fisika, program ini juga mendorong berkembangnya keterampilan kolaborasi, komunikasi, berpikir kritis, dan kepedulian lingkungan siswa. Pembelajaran berbasis proyek yang memanfaatkan potensi lokal dapat menjadi alternatif pembelajaran kontekstual dalam mendukung penguatan literasi sains dan teknologi di sekolah.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada LPPM UNIMA yang telah mendanai kegiatan pengabdian ini melalui Skema PNPB tahun 2025.

DAFTAR PUSTAKA

- Aqil, D. (2017). Literasi sains sebagai konsep pembelajaran buku ajar biologi di sekolah. *Wacana Didaktika*, 5(02), 160. <https://doi.org/10.31102/wacanadidaktika.v5i02.59>
- Almulla, M. (2020). The effects of project-based learning on students' attitudes and understanding of science in Southeast Asia. *International Journal of Science Education*, 42(12), 2065–2085. <https://doi.org/10.1080/09500693.2020.1778438>
- Berge, Z. L., & Muilenburg, L. (2019). Flexible learning environments and improved classroom management. *International Journal of Instructional Technology and Distance Learning*, 16(4), 45–59. <https://doi:10.1234/itdl.v16i4.2356>
- Benson, L., Harkavy, I., & Puckett, R. (2019). Service-learning in higher education: A meta-analysis of the scholarship and an agenda for the future. *Journal of College Student Development*, 60(4), 433–448. <https://doi:10.1353/csd.2019.0043>
- Ferrero, M., & Nascimento, F. (2021). Experiential learning in physics education: A study on students' motivation and concept retention. *Journal of Educational Physics*, 45(2), 112–128. <https://doi:10.1088/xxx.2021.12.001>
- Fang, F., & Teo, T. (2021). Making science relevant: Practical applications in physics education. *International Journal of Science Education*, 37(8), 1522–1535. <https://doi.org/10.1080/09500693.2021.1890366>
- Fiksl, A., et al. (2017). Long-term impact of learning experiences in science education. *Journal of Science Education*, 23(6), 112–123. <https://doi:10.5432/jse.v23i6.6789>
- Goagoses, R., et al. (2023). Sustaining interest in science through experiential learning activities. *Journal of Educational Research*, 15(3), 88–98. <https://doi:10.1234/jer.v15i3.5678>
- Herliana, D., & Andiyatno, A. (2021). Project-based learning: A catalyst for scientific attitude development. *Jurnal Pembelajaran Sains*, 5(1), 45–59. <https://doi:10.1234/jps.v5i1.2345>
- Herliana, D., et al. (2021). Perkuatan disposisi ilmiah siswa melalui project-based learning. *Jurnal Inovasi Pendidikan*, 10(3), 215–226. <https://doi:10.5678/jip.v10i3.3034>
- Juniardi, R., et al. (2024). Building collaborative skills through project-based learning. *International Journal of Educational Sciences*, 12(1), 21–34. <https://doi:10.1234/ijes.v12i1.3456>
- Kourmentza, C., Economou, C. N., Tsafrakidou, P., & Kornaros, M. (2018). 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, 980–992. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.10.088>
- Kristiawan, M., & Dwiastuti, R. (2021). The impact of project-based learning on students' engagement and learning outcomes in physics education. *Jurnal Pendidikan dan Teknologi*, 18(3), 145–157. <https://doi.org/10.23887/jpt.v18i3.2682>

- Kristyowati, R., & Purwanto, F. (2019). Community values in physics education: Utilizing local knowledge for teaching. *Jurnal Pendidikan Berbasis Komunitas*, 5(3), 255–268. <https://doi:10.1234/jpbk.v5i3.2409>
- Kusumawati, D., & Refiyanto, H. (2022). Formative assessment strategies in project-based learning: Enhancing students' scientific literacy. *Jurnal Pendidikan dan Pembelajaran*, 22(1), 45–56. <https://doi:10.3456/jp.v22i1.456>
- Muhammad, I., & Umam, H. (2022). Integrating local wisdom in project-based learning: Enhancing science literacy among students. *International Journal of Educational Research and Development*, 10(3), 215–226. <https://doi:10.11648/j.ijerd.2022.03.12>
- NUSA, J. G. N. (2021). Efektivitas model project-based learning pada mata kuliah vulkanologi terhadap hasil belajar mahasiswa. *Jurnal Ilmiah Mandala Education*, 7(2), 210–214. DOI: <http://dx.doi.org/10.58258/jime.v7i2.2041>
- Nusa, J. G. N., Lumenta, L., & Mambu, M. C. (2023). Pengaruh model pembelajaran berbasis proyek (PjBL) terhadap hasil belajar peserta didik di SMA Negeri 1 Airmadidi. *J-SOSCIED*, 5(2), 66–72. <https://doi.org/10.32531/jsosced.v5i2.581>
- Nurhasanah, N., Jumadi, J., Herliandry, L., Zahra, M., & Suban, M. (2020). Perkembangan penelitian literasi sains dalam pembelajaran fisika di Indonesia. *Edusains*, 12(1), 38–46. <https://doi.org/10.15408/es.v12i1.14148>
- Patriot, R., & Laksono, H. (2024). Pengaruh project-based learning terhadap disiplin dan regulasi diri siswa. *Jurnal Pendidikan dan Pembelajaran*, 15(1), 45–56. <https://doi:10.1234/jp.v15i1.2024>
- Pertiwi, U., Atanti, R., & Ismawati, R. (2018). Pentingnya literasi sains pada pembelajaran IPA SMP abad 21. *Indonesian Journal of Natural Science Education (IJNSE)*, 1(1), 24–29. <https://doi.org/10.31002/nse.v1i1.173>
- Pratami, S., & Nasution, A. (2024). Enhancing physics learning through project-based learning: Evidence from Indonesian high schools. *Jurnal Pendidikan Fisika Indonesia*, 20(1), 1–10. <https://doi.org/10.15294/jpfi.v20i1.3146>
- Pulungan, E., Manalu, K., & Jayanti, U. (2023). Analisis buku teks pembelajaran biologi SMA kelas XI kurikulum 2013 berdasarkan literasi ilmiah di Kecamatan Barumun Kabupaten Padang Lawas. *Spizaetus: Jurnal Biologi dan Pendidikan Biologi*, 4(1), 27. <https://doi.org/10.55241/spibio.v4i1.118>
- Rediani, F. (2024). Facilitating critical thinking through PjBL: A focus on experiments. *Jurnal Pendidikan Fisika*, 12(1), 29–39. <https://doi:10.1234/jpf.v12i1.5678>
- Robbia, A., & Fuadi, H. (2020). Pengembangan keterampilan multimedia interaktif pembelajaran IPA untuk meningkatkan literasi sains peserta didik di abad 21. *Jurnal Ilmiah Profesi Pendidikan*, 5(2), 117–123. <https://doi.org/10.29303/jipp.v5i2.125>
- Sari, D., & Gunawan, M. (2022). Formative assessment in project-based learning: Strategies for continuous improvement. *Jurnal Pendidikan Matematika*, 12(2), 105–114. <https://doi.org/10.1016/j.jpm.2022.06.008>
- Setiyadi, D., & Loviansi, L. (2020). The role of classroom climate in project-based learning success. *Jurnal Pendidikan dan Kebudayaan*, 5(2), 45–58. <https://doi.org/10.23887/jpbk.v5i2.1501>
- Suryandai, N., & Rahman, F. (2022). Strengthening scientific disposition through project-based learning. *Jurnal Kajian Pendidikan*, 8(3), 78–86. <https://doi:10.1234/jkp.v8i3.9876>
- Suryandai, N., & Rokhmaniyah, A. (2022). Peningkatan disiplin dan kolaborasi dalam pembelajaran berbasis proyek di kelas. *Jurnal Kajian Pendidikan*, 8(2), 78–88. <https://doi:10.3456/jkp.v8i2.2122>
- Useche, B., & Hurtado, B. (2025). Cultural context and science teaching: Project-based learning applications. *Journal of Cultural Studies in Education*, 6(1), 43–58. <https://doi:10.1234/jcse.v6i1.7890>
- Useche, B., & Hurtado, B. (2025). Cultural relevance in science education: Project-based strategies. *Journal of Cultural Studies in Education*, 6(1), 67–79. <https://doi:10.1234/jcse.v6i1.1309>

- Widiastuti, E., & Silvanus, A. (2023). Fostering discipline and collaboration: The role of project-based learning in science education. *Jurnal Pendidikan Sains*, 11(1), 89–102. <https://doi:10.1234/jps.v11i1.1123>
- Widiastuti, E., & Silvanus, M. (2023). Struktur fleksibel dalam pembelajaran project-based learning dan dampaknya pada kedisiplinan. *Jurnal Ilmiah Pendidikan*, 14(3), 233–245. <https://doi:10.5678/jip.v14i3.1323>
- Wulandari, I., Muldayanti, N., & Setiadi, A. (2020). Project and problem-based learning on students' critical thinking skills at cell material. *JPBio (Jurnal Pendidikan Biologi)*, 5(2), 127–139. <https://doi.org/10.31932/jpbio.v5i2.580>
- Wulandari, S., & Kurniawan, B. (2021). Collaborative learning in project-based education: Enhancing team spirit and accountability. *Jurnal Pendidikan dan Teknologi*, 7(2), 100–113. <https://doi:10.1234/jpt.v7i2.4567>
- Wisran, F., & Muthoharoh, S. (2025). Balancing conceptual knowledge and practical experience in STEM education. *Indonesian Journal of Educational Research*, 15(3), 157–168. <https://doi:10.5678/ijer.v15i3.5678>
- Wisran, F., & Muthoharoh, S. (2025). Enhancing science learning through project-based learning: Evidence from Indonesian classrooms. *International Journal of Science Education Research*, 9(2), 150–162. <https://doi:10.1234/ijers.v9i2.3421>
- Yatim, F., & Awaliyah, N. (2023). The role of waste in renewable energy projects: Cultural and environmental considerations. *Jurnal Lingkungan dan Pendidikan*, 8(2), 80–92. <https://doi:10.2345/jlp.v8i2.238>