

Analisis Persepsi Mahasiswa Terhadap Praktikum Pembuatan Biodiesel Minyak Jelantah Berbasis *Low-cost equipment*

Titah Sayekti*, Arinta Windiyanti R

UIN Kiai Ageng Muhammad Besari Ponorogo, Indonesia

*Penulis korespondensi, E-mail: titah.sayekti7@gmail.com

Abstract: The growing dependence on fossil fuels has triggered environmental concerns, including greenhouse gas emissions and air pollution. Biodiesel production from waste cooking oil offers an environmentally friendly alternative that can be implemented through practical science activities. However, limited laboratory facilities often hinder its application in higher education. This study aims to analyze students' perceptions of a biodiesel production experiment using low-cost equipment. A mixed-method approach with a sequential explanatory design was employed. Quantitative data were collected through closed-ended questionnaires completed by 63 students from the "Energy in Life Systems" course, complemented by semi-structured interviews with 10 selected participants. The five dimensions assessed included conceptual understanding, ease of use, safety, engagement, and cost-efficiency. Results showed mean scores of 4.46 for conceptual understanding (very good), 4.37 for cost-efficiency (very good), 4.43 for safety (very good), 4.46 for engagement (very good), and 4.06 for ease of use (good). Qualitative findings reinforced that students found the practicum effective, safe, enjoyable, and aligned with real-world applications. In conclusion, the use of low-cost equipment in biodiesel practicum enhances meaningful and contextual science learning, especially in resource-limited educational settings. Therefore, low-cost equipment-based practicum is recommended to be integrated into the science education curriculum, particularly in the context of project-based learning and limited laboratory facilities.

Key Words: biodiesel; low-cost equipment; practical learning; student perception; renewable energy

Abstrak: Ketergantungan terhadap bahan bakar fosil telah memicu berbagai permasalahan lingkungan seperti emisi gas rumah kaca dan pencemaran udara. Pembuatan biodiesel dari minyak jelantah merupakan salah satu alternatif ramah lingkungan yang dapat diterapkan dalam pendidikan sains melalui kegiatan praktikum. Tantangan utama salah satunya dari keterbatasan sarana laboratorium yang kurang memadai. Penelitian ini dilakukan dengan tujuan untuk menganalisis persepsi mahasiswa terhadap kegiatan praktikum pembuatan biodiesel berbasis alat sederhana (*low-cost equipment*). Penelitian menggunakan metode campuran (mixed method) dengan desain eksplanatoris sekuensial. Data kuantitatif diperoleh dari angket yang diisi oleh 63 mahasiswa pada mata kuliah "Energi dalam Sistem Kehidupan", dan dilengkapi dengan wawancara semi-terstruktur pada 10 mahasiswa terpilih. Instrumen menilai lima dimensi persepsi: kepehaman, kemudahan, keamanan, ketertarikan, dan pembiayaan. Hasil menunjukkan bahwa dimensi pemahaman konsep memperoleh skor rata-rata 4,46 (sangat baik), efisiensi biaya 4,37 (sangat baik), keamanan 4,43 (sangat baik), ketertarikan 4,46 (sangat baik), dan kemudahan 4,06 (baik). Temuan kualitatif memperkuat bahwa praktikum ini efektif dalam meningkatkan pemahaman, aman, menarik, serta efisien

dari segi biaya. Berdasarkan hasil analisis dapat disimpulkan bahwa alat sederhana dapat menjadi sarana yang layak untuk mendukung pembelajaran sains yang kontekstual dan bermakna dalam kondisi terbatas. Oleh karena itu, praktikum *low-cost equipment* dapat direkomendasikan untuk diintegrasikan ke dalam kurikulum pendidikan sains, terutama dalam konteks pembelajaran berbasis proyek dan keterbatasan fasilitas laboratorium.

Kata kunci: biodiesel; alat sederhana; pembelajaran praktikum; persepsi mahasiswa; energi terbarukan

PENDAHULUAN

Praktikum merupakan bagian yang tak terpisahkan dari pembelajaran IPA tak terkecuali di perguruan tinggi. Secara hakikat, sains merupakan kumpulan pengetahuan yang dibangun melalui proses ilmiah. Praktikum merupakan suatu kegiatan pembelajaran yang membawa mahasiswa pada proses ilmiah yang memberikan pengalaman nyata sehingga dapat membangun pemahaman konsep dan kebermaknaan materi sains yang dipelajari (Millar, 2004). Bukan hanya pemahaman. Panuluh, (2022) melaporkan bahwa kegiatan praktikum dapat memberikan penguatan pada keterampilan proses sains mahasiswa. Nurwahidah & Sari (2022) menyatakan bahwa kegiatan praktikum dapat mengembangkan kemampuan kolaborasi, yang merupakan salah satu keterampilan dalam era pendidikan abad 21. Bagi mahasiswa calon guru IPA, praktikum sangat berperan dalam membentuk kepercayaan diri mengajar calon guru IPA (Martins et al., 2015). Mengingat peranan yang begitu besar maka, kegiatan praktikum perlu diupayakan untuk dapat diselenggarakan.

Kegiatan praktikum memerlukan bahan dan peralatan laboratorium sebagai sarana pelaksanaannya. Akan tetapi sering kali, tenaga pengajar dihadapkan kepada kondisi minimnya sarana dan prasarana laboratorium. Jumrodah et al., (2023) menyatakan bahwa faktor utama guru dan siswa sekolah menengah atas tidak dapat melaksanakan praktikum secara penuh adalah keterbatasan alat dan bahan laboratorium. Hal senada disampaikan oleh Prayunisa & Marzuki (2024), praktikum IPA di sekolah dasar dan menengah mengalami hambatan oleh minimnya infrastruktur. Mengingat urgensi pelaksanaan praktikum, maka permasalahan ini perlu untuk dipecahkan. Riyanto et al., (2023) memberikan ulasan bahwa salah satu bentuk upaya penyelesaian hambatan tersebut adalah dengan mendorong kreativitas tenaga pengajar untuk membuat media dan alat alternatif untuk kegiatan praktikum. Dalam konteks calon mahasiswa pendidikan IPA, keterbatasan fasilitas laboratorium menjadi tantangan yang kemungkinan besar akan dihadapi. Maka perlu diperkenalkan pendekatan inovatif yang dapat diaplikasikan dengan menggunakan *low-cost equipment* atau peralatan sederhana yang terjangkau namun tetap relevan secara fungsional.

Ketergantungan yang tinggi terhadap energi berbasis fosil masih menjadi faktor utama penyebab munculnya berbagai permasalahan lingkungan global, seperti emisi gas rumah kaca dan kualitas udara yang memburuk. Masalah ini menjadi isu strategis yang memiliki dampak luas, termasuk diantaranya aspek lingkungan dan ketahanan energi nasional. Dari data kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (2023) menunjukkan bahwa lebih dari 85% kebutuhan energi nasional masih bergantung pada sumber fosil (Anditya et al., 2024). Sektor transportasi tercatat sebagai pengguna utama energi tersebut, sekaligus penyumbang emisi terbesar. Sebagai upaya mengurangi dampak negatif yang dihasilkan dari penggunaan bahan bakar berbasis fosil dan mendukung transisi energi bersih, pemanfaatan bahan bakar alternatif seperti biodiesel dari sumber terbarukan menjadi langkah yang penting. Oleh karena itu, pada

mata kuliah Energi dalam Sistem Kehidupan mengangkat topik mengenai Energi Alternatif yang disusun dalam dua kegiatan yakni kuliah teori dan praktikum.

Salah satu bahan baku yang memiliki potensial besar namun belum dimanfaatkan secara maksimal adalah minyak jelantah, yakni limbah minyak goreng bekas dari aktivitas rumah tangga dan industri yang seringkali mencemari lingkungan. Di Indonesia, ketersediaan minyak jelantah diperkirakan mencapai 3 juta kiloliter per tahun. Sayangnya, kurang dari seperlima dari jumlah tersebut yang dimanfaatkan secara produktif, termasuk untuk dikonversi menjadi bahan bakar alternatif. Padahal, kandungan trigliserida pada minyak jelantah cukup memadai untuk diolah menjadi biodiesel melalui proses transesterifikasi. Pemanfaatan limbah ini tidak hanya mengurangi limbah domestik dan beban pencemaran lingkungan, tetapi juga memiliki potensi untuk menekan biaya produksi energi alternatif (Sholikhah et al., 2024). Maka bahan tersebut dipilih sebagai bahan baku yang diolah menjadi biodiesel oleh mahasiswa dalam kegiatan praktikum.

Telah banyak penelitian yang membuktikan keberhasilan transesterifikasi minyak jelantah menjadi biodiesel dengan kualitas mendekati standar sebagian besar studi tersebut masih berfokus pada aspek teknis menggunakan perangkat laboratorium canggih yang tidak selalu dapat diakses oleh institusi pendidikan non-riset (Hadrah et al., 2018). Sementara itu, upaya untuk mengintegrasikan praktikum konversi biodiesel ke dalam pembelajaran berbasis alat sederhana masih sangat terbatas. Bahkan hingga saat ini belum ada kajian yang mengulas secara spesifik persepsi mahasiswa terhadap implementasi dan pengalaman belajar dari praktikum pembuatan biodiesel menggunakan *low-cost equipment*. Hal ini membuka peluang penelitian yang belum banyak dijelajahi, terutama yang mengkaji keterkaitan antara pendekatan teknis dan pedagogis dalam pengajaran sains. Dengan memadukan sudut pandang pendidikan dan rekayasa berkelanjutan, artikel ini diharapkan dapat memberikan kontribusi baru dalam pembelajaran praktikum berbasis *low-cost equipment* dalam membentuk pemahaman dan kesadaran mahasiswa terhadap energi terbarukan.

Permasalahan utama dalam kajian ini adalah bagaimana mahasiswa memandang pengalaman praktikum pembuatan biodiesel dari minyak jelantah yang dilakukan menggunakan peralatan sederhana, dan sejauh mana metode tersebut efektif dalam menunjang pemahaman konseptual dan keterampilan praktis. Dengan demikian, tujuan artikel ini adalah untuk menganalisis persepsi mahasiswa terhadap pengalaman mereka dalam praktikum pembuatan biodiesel berbasis *low-cost equipment*.

METODE

Penelitian ini menggunakan metode *mix method* dengan desain eksplanatoris sekuensial. Metode *mix method* menggabungkan dua metode yakni kualitatif dan kuantitatif secara bersamaan untuk memperoleh data yang lebih reliable, valid, objektif dan komprehensif (Sugiyono, 2012). Survei kuantitatif akan memberikan data tentang prevalensi, sedangkan wawancara mendalam akan menggali alasan di balik pola tersebut. Kombinasi ini memperkuat validitas melalui triangulasi, mendukung pengembangan instrumen yang relevan, dan memungkinkan analisis yang lebih luas dan mendalam. Data kuantitatif diperoleh dengan menyebarkan angket kepada responden dalam bentuk google form untuk mengetahui persepsi mahasiswa terhadap kegiatan praktikum pembuatan biodiesel berbahan baku minyak jelantah dengan menggunakan alat sederhana (*low budget equipment*). Data kuantitatif diperdalam dengan data kualitatif yang diperoleh dari hasil wawancara semi terstruktur pada responden

yang dipilih dengan *purposive sampling* berdasarkan jawaban angket (negatif, netral atau positif). Wawancara dilakukan untuk menggali lebih jauh alasan dan pengalaman responden berdasarkan jawaban angket yang telah diisi.

Instrumen dalam penelitian ini berupa format angket dan pedoman wawancara. Angket disusun berbentuk kuesioner tertutup yang dalam skala likert 5 skala yang dikelompokkan kedalam 5 dimensi utama yakni: kephahaman, kemudahan, keamanan, ketertarikan dan pembiayaan. Pedoman wawancara berupa pertanyaan terbuka yang dikembangkan dari hasil jawaban angket. Validasi instrumen dilakukan melalui expert judgment dengan menkonsultasikan instrumen kepada dua orang ahli yang terdiri dari satu orang ahli pendidikan IPA dan satu orang ahli praktikum laboratorium.

Subjek dalam penelitian ini adalah mahasiswa jurusan Tadris IPA UIN Kiai Ageng Muhammad Besari Ponorogo yang sedang mengontrak mata kuliah Energi dalam Sistem Kehidupan, telah mengikuti perkuliahan topik Energi Alternatif dan telah melaksanakan praktikum pembuatan biodiesel minyak jelantah dengan *low budget equipment*. Sebanyak 63 responden dilibatkan dalam pengisian angket. Selanjutnya pada tahap wawancara dipilih 10 orang responden yang ditentukan berdasarkan jawaban angket. Seluruh responden telah memberikan persetujuan dan seluruh data dijamin kerahasiaannya serta hanya dipergunakan untuk keperluan akademik.

Sesuai dengan alur desain eksplanatoris sekuensial, data angket akan dianalisis terlebih dahulu secara deskriptif kuantitatif dengan dengan bantuan MS Excel. Sedangkan data hasil wawancara dianalisis setelah data angket diperoleh. Wawancara dianalisis dengan teknik Miles-Huberman yang terdiri dari proses reduksi data, penyajian data dan pengambilan kesimpulan. Hasil skor angket tiap responden dihitung berdasarkan total dan rata-rata skor pada masing-masing indikator kemudian, hasil dianalisis dengan mengelompokkan skor rata-rata ke dalam lima kategori sebagai berikut:

Skor	Kategori
4,21 – 5,00	Sangat Baik
3,41 – 4,20	Baik
2,61 – 3,40	Cukup
1,81-2,60	Kurang
1,00 – 1,80	Sangat Kurang

(Sugiyono, 2019)

HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Low-cost equipment pada praktikum pembuatan biodiesel minyak jelantah

Low-cost equipment merupakan alat laboratorium yang dibuat secara sederhana dengan memanfaatkan bahan-bahan lokal yang mudah dijangkau dari segi ketersediaan dan pembiayaan. *Low-cost equipment* dikembangkan sebagai alternatif dari peralatan laboratorium yang berbiaya tinggi dan susah didapatkan sehingga kegiatan praktikum tetap dapat terlaksana meskipun dengan keterbatasan sarana (Fajrin & Hakim, 2023). Pada praktikum pembuatan biodiesel minyak jelantah dikembangkan alat sederhana dengan berupa alat rumah tangga dan limbah yang mudah ditemukan di rumah dan di lingkungan sekitar dengan data pada tabel 1. Sebelum pelaksanaan praktikum serangkaian alat *low-cost equipment* yang akan diterapkan di uji cobakan terlebih dahulu oleh tim pengembang praktikum untuk memastikan efektivitas dan efisiensinya. Sekalipun alat sederhana namun perlu dipastikan bahwasannya alat tersebut tetap dapat digunakan untuk melaksanakan tahapan-tahapan pembuatan biodiesel sehingga dapat menghasilkan produk sesuai dengan harapan.

Tabel 1. Alat Pembuatan Biodiesel Minyak Jelantah

Tahapan	Alat Standar laboratorium	<i>Low-cost equipment</i>
Pemurnian jelantah	Bakker glass	Botol air mineral bekas
Pembuatan larutan metoksida	Bakker glass, gelas ukur, neraca analitik, batang pengaduk, cawan arloji	Gelas kaca, gelas takar, timbangan kue, sendok plastik, cawan gelas
Pemrosesan minyak jelantah menjadi biodiesel kasar (trans esterifikasi)	Bakker glass, water bath, bottle sample	Panci, gelas kaca, botol bekas air mineral
Pemurnian biodiesel	Corong pisah, bakker glass	Set rakitan alat pemisah dari botol bekas, gelas kaca
Uji nyala	Bunsen	Botol kaca bekas minuman dengan sumbu kain katun/tisu

2. Persepsi mahasiswa terhadap praktikum pembuatan biodiesel minyak jelantah berbasis *Low-cost equipment*

Dari hasil rekapitulasi skor rata-rata terhadap lima dimensi persepsi yang tertuang pada tabel 2. diketahui bahwa empat dimensi berada dalam kategori "Sangat Baik", dan satu dimensi berada dalam kategori "Baik". Hasil tersebut menunjukkan bahwa secara keseluruhan mahasiswa memiliki persepsi yang sangat positif terhadap pelaksanaan praktikum pembuatan biodiesel minyak jelantah berbasis *Low-cost equipment*. Disambut sangat baik oleh mahasiswa, efektif meningkatkan pengalaman belajar, serta efisien dari sisi keamanan dan pembiayaan. Eksplanasi yang lebih rinci adalah sebagai berikut:

Tabel 2. Rekapitulasi Skor Dimensi Persepsi

Dimensi	Skor rata-rata	Kategori
Kepahaman	4.46	Sangat Baik
Kemanan	4.43	Sangat Baik
Kemudahan	4.06	Baik
Antusiasme	4.46	Sangat Baik
Pembiayaan	4.37	Sangat Baik

Untuk memperkuat data kuantitatif yang diperoleh dari pengolahan skor melalui angket, dilakukan wawancara pada responden. Hasil wawancara dianalisis dan dipetakan kemudian dirangkum seperti pada tabel 3. Mahasiswa secara umum memberikan respon positif sebagaimana yang digambarkan pada hasil rekapitulasi skor pada angket. Melalui hasil wawancara diperoleh alasan, kondisi dan gambaran lebih mendalam yang dialami oleh mahasiswa selama melakukan praktikum dengan *low-cost equipment*. Untuk eksplanasi lebih lanjut ada pada poin-poin ulasan per dimensi.

Tabel 3. Rekapitulasi Dimensi, Kode dan Kutipan Wawancara

Dimensi	Kode Utama	Kutipan Representatif
Kepahaman	Paham, Mengerti Proses	“Praktikum dengan alat sederhana ini benar-benar membantu saya memahami materi energi alternatif. Saat hanya belajar lewat teori, sering kali saya agak bingung membayangkan prosesnya. Tapi dengan praktik langsung, saya bisa melihat bagaimana cara kerjanya, jadi penjelasan yang sudah saya pelajari jadi lebih mudah dipahami dan terasa nyata. Jadi, walaupun murah, alat ini tetap efektif buat bantu kita ngerti materi.” (R1)
Keamanan	Aman, Tidak Berbahaya	“Selama praktikum, saya merasa penggunaan alat ini cukup aman. Bentuknya sederhana dan tidak ada bagian yang berbahaya asalkan digunakan sesuai petunjuk.” (R8)
Kemudahan	Mudah, Tidak Rumit	“Alatnya cukup praktis dan mudah digunakan. Saya bisa langsung mengerti fungsinya karena bentuk dan prinsip kerjanya tidak rumit. Terlebih lagi dosen memberikan pendampingan yang intensif bila mana saya mengalami kesulitan.” (R5)
Antusiasme	Menarik, Menyenangkan	“Saya merasa alat ini menarik karena mampu menjelaskan prinsip energi alternatif secara visual dan sederhana. Jadi, pembelajarannya terasa lebih menyenangkan.” (R2)
Pembiayaan	Efisien, Murah, Hemat	“Menurut saya alat ini cukup efisien secara biaya karena bahannya simpel dan gampang dicari, tapi fungsinya tetap jalan dan bisa menunjukkan konsep energi alternatif dengan jelas.”

a. Kepahaman

Dimensi keahaman memperoleh skor rata-rata sebesar 4.46, yang termasuk dalam kategori "sangat baik". Mahasiswa merasa memahami prosedur, konsep dasar, serta tujuan dari praktikum pembuatan biodiesel berbasis *low-cost equipment*. Hasil wawancara memperdalam temuan bahwasannya kegiatan praktikum dapat membantu mahasiswa dalam memahami konsep energi alternatif. Dengan adanya *low-cost equipment*, maka kegiatan praktikum dapat dilakukan sekalipun tanpa menggunakan alat laboratorium terstandar. Mahasiswa menyatakan bahwa sekalipun menggunakan alat sederhana dengan biaya yang murah, namun mahasiswa tetap dapat memahami proses pembuatan biodiesel sekaligus menguatkan materi mengenai energi alternatif. Persepsi ini menunjukkan bahwa praktikum dengan *low-cost equipment* dapat menjalankan fungsi sebagai sarana belajar ilmiah untuk memahami suatu konsep sains sebagaimana praktikum pada umumnya. Temuan ini sejalan dengan (Bouquet et al., 2016) bahwa penggunaan *low-cost equipment* tetap efektif dalam menunjang pembelajaran konseptual.

b. Keamanan

Dimensi keamanan memperoleh skor rata-rata sebesar 4.43, yang termasuk dalam kategori "sangat baik". Data ini menunjukkan bahwa mahasiswa merasa aman selama proses praktikum berlangsung. Aspek keamanan dalam penggunaan alat dan bahan merupakan faktor yang cukup krusial dalam kegiatan praktikum, terutama pada kegiatan berbasis eksperimen kimia seperti pembuatan biodiesel. Hasil wawancara menunjukkan bahwa dengan alat sederhana yang digunakan minim resiko sehingga mahasiswa merasa aman dan percaya diri dalam penggunaannya. Data tersebut mendukung studi Bouquet et al., (2016), yang menegaskan bahwa alat sederhana tetap dapat memenuhi aspek keamanan jika dirancang dan digunakan secara tepat.

c. Kemudahan

Dimensi kemudahan memperoleh skor rata-rata sebesar 4.06, yang termasuk dalam kategori "baik". Meskipun lebih rendah dibanding dimensi lainnya, namun dimensi ini masih mencerminkan persepsi positif. Berdasarkan hasil wawancara, sekalipun menggunakan alat yang sederhana, namun mahasiswa masih membutuhkan bimbingan dari dosen. Hal ini senada dengan yang dikemukakan Zidny et al., (2019) bahwa penggunaan alat *low-cost* harus didukung oleh pelatihan teknis dan petunjuk yang jelas untuk memaksimalkan penggunaannya.

d. Antusiasme

Dimensi antusiasme memperoleh skor rata-rata sebesar 4.46, yang termasuk dalam kategori "sangat baik". Data ini mencerminkan antusiasme yang tinggi pada diri mahasiswa dalam melaksanakan praktikum sekalipun menggunakan *low-cost equipment*. Hasil wawancara memperkuat temuan ini dengan pernyataan bahwa mahasiswa lebih memahami proses dalam topik energi alternatif secara visual. Hal ini memberikan gambaran keberhasilan metode pembelajaran berbasis *hands-on* dalam meningkatkan motivasi dan keterlibatan mahasiswa. Aranguren et al. (2022) dalam penelitiannya menunjukkan bahwa alat sederhana dan kontekstual mampu membangkitkan minat belajar IPA secara signifikan.

e. Pembiayaan

Dimensi pembiayaan mendapatkan skor rata-rata 4.37, yang juga tergolong "sangat baik". Persepsi ini menggambarkan bahwa sekalipun harus mencari dan merakit sendiri alat, namun tidak memberatkan mahasiswa secara ekonomi. Ini menunjukkan bahwa praktikum *Low Cost Equipment* berpotensi untuk menunjang pembelajaran yang inklusif dan berkelanjutan. Fajrin & Hakim, (2023) menyatakan bahwa *low-cost equipment* adalah solusi praktis untuk mengurangi biaya peralatan laboratorium komersial tanpa mengurangi kualitas pembelajaran.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa praktikum pembuatan biodiesel dari minyak jelantah menggunakan *low-cost equipment* memperoleh tanggapan yang sangat positif dari mahasiswa. Lima dimensi persepsi yang dianalisis menunjukkan hasil yang dominan dalam kategori "sangat baik", yakni pada aspek pemahaman

konsep, efisiensi biaya, keamanan, dan ketertarikan. Sementara itu, dimensi kemudahan penggunaan ada pada kategori baik. Data tersebut menunjukkan bahwa penggunaan alat sederhana tidak hanya memungkinkan secara teknis, tetapi juga ekonomis untuk diterapkan di institusi pendidikan dengan keterbatasan fasilitas laboratorium.

Temuan ini diperkuat dengan data kualitatif yang menunjukkan bahwa mahasiswa merasa lebih terlibat secara aktif dalam pembelajaran, serta mampu mengaitkan praktik tersebut dengan isu energi terbarukan dan pengelolaan limbah domestik. Dengan demikian, praktikum ini tidak hanya berfungsi sebagai media pembelajaran teknik konversi energi, tetapi juga sebagai pendekatan pedagogis yang kontekstual dan aplikatif.

Secara keseluruhan, penggunaan *low-cost equipment* dalam praktikum pembuatan biodiesel terbukti efektif dalam meningkatkan pemahaman konseptual, keterampilan praktis, serta kesadaran mahasiswa terhadap isu-isu energi berkelanjutan. Oleh karena itu, praktikum *low-cost equipment* dapat direkomendasikan untuk diintegrasikan ke dalam kurikulum pendidikan sains, terutama dalam konteks pembelajaran berbasis proyek dan keterbatasan fasilitas laboratorium.

REFERENSI

- Anditya, C., Lasnawatin, F., Pranoto, A. B., Halim, L., Anutomo, I. G., Anggraeni, D., Idarwati, F., Yusuf, M., Ambarsari, L., & Yuanningrat, H. (2024). *Handbook of Energy & Economic Statistics in Indonesia 2023*. 1–106.
- Aranguren, P., Sánchez, D., Casi, Á., Araiz, M., & Catalán, L. (2022). Gamification and a low-cost laboratory equipment aimed to boost vapor compression refrigeration learning. *Journal of Technology and Science Education*, 12(1), 204–216. <https://doi.org/10.3926/JOTSE.1458>
- Bouquet, F., Bobroff, J., Fuchs-Gallezot, M., & Maurines, L. (2016). Project-based physics labs using low-cost open-source hardware. *American Journal of Physics*, 85(3), 216–222. <https://doi.org/10.1119/1.4972043>
- Fajrin, S., & Hakim, D. L. (2023). Implementation of Low-Cost Laboratory in Education: A Systematic Literature Review. *Jiptek*, 16(2), 163. <https://doi.org/10.20961/jiptek.v16i2.74489>
- Hadrah, H., Kasman, M., & Sari, F. M. (2018). Analisis Minyak Jelantah Sebagai Bahan Bakar Biodiesel dengan Proses Transesterifikasi. *Jurnal Daur Lingkungan*, 1(1), 16. <https://doi.org/10.33087/daurling.v1i1.4>
- Jumrodah, J., Meiana, N. A., Ashari, R., Awaluddin, A. M., Ajiza, P. D., Alia, R., Maharani, S. P., Karlina, S., & Anwar, M. S. (2023). Analisis Hambatan Guru Dalam Pembelajaran Biologi Berbasis Praktikum Di SMA. *Jurnal Penelitian Sains Dan Pendidikan (JPSP)*, 3(1), 92–104. <https://doi.org/10.23971/JPSP.V3I1.5987>
- Martins, M., Costa, J., & Onofre, M. (2015). Practicum experiences as sources of pre-service teachers' self-efficacy. *European Journal of Teacher Education*, 38(2), 263–279. <https://doi.org/10.1080/02619768.2014.968705>
- Millar, R. (2004). *The role of practical work in the teaching and learning of science*. October.
- Nurwahidah, I., & Sari, D. S. (2022). ANALISIS KETERAMPILAN MAHASISWA PENDIDIKAN IPA DALAM MELAKUKAN PRAKTIKUM DAN BERKOLABORASI. *EduTeach : Jurnal Edukasi Dan Teknologi Pembelajaran*, 3(2), 1–10. <https://doi.org/10.37859/EDUTEACH.V3I2.3795>
- Panuluh, A. H. (2022). *Improving the science process skills of physics education students by using guided inquiry practicum*. <https://arxiv.org/pdf/2211.04006>
- Prayunisa, F., & Marzuki, A. D. (2024). Analisis Kesulitan dalam Pelaksanaan Praktikum IPA SD dan

- IPA Terpadu SMP. *NUSRA: Jurnal Penelitian Dan Ilmu Pendidikan*, 5(3), 1145–1151. <https://doi.org/10.55681/NUSRA.V5I3.3133>
- Riyanto, A., Susanti, R., & Bramastia, B. (2023). Hambatan dan Solusi Pelaksanaan Praktikum IPA (Studi kasus di SMP Negeri 3 Purwantoro Kabupaten Wonogiri). *Prosiding SNPS (Seminar Nasional Pendidikan Sains)*, 224–235. <https://proceeding.uns.ac.id/snps/article/view/782>
- Sholikhah, I., Kusuma, A., Hafizh, H., Mubaroq, A. Z., Kasamira, K. I., Marsono, M. R., Sarwono, A., Septiariva, I. Y., & Suryawan, I. W. K. (2024). Optimalisasi Pemanfaatan Minyak Jelantah Menjadi Biodiesel sebagai Langkah Konkret Praktik Zero Waste Skala Rumah Tangga. *JTERA (Jurnal Teknologi Rekayasa)*, 9(1), 33. <https://doi.org/10.31544/jtera.v9.i1.2024.33-40>
- Sugiyono. (2019). *Metode Penelitian Dan Pengembangan Research Dan Development*.
- Sugiyono. (2012). *Model Penelitian Kombinasi (Mix Method)*. Alfabeta.
- Zidny, R., Fadhilah, G. A., Melda, G. E., Sholihah, I. I., Widiastuti, N. L., Haerunnisa, N., & El Islami, R. A. Z. (2019). Simple and Low-Cost Chemical Experiment Kits to Observe the Concept of Gas Laws. *Jurnal Penelitian Dan Pembelajaran IPA*, 5(1), 16. <https://doi.org/10.30870/jppi.v5i1.3917>