



Implementation of Science and Engineering Practices in Physics Practicum: Evaluation of Readiness, Implementation, and Outcomes

Saiyidah Mahtari^{*1}, Suyidno Suyidno², Qamariah Qamariah³, Mastuang Mastuang⁴, Mita Khalia⁵

^{1,2,3,4,5}Universitas Lambung Mangkurat, Indonesia

E-mail: saiyidah_pfis@ulm.ac.id

Article Info	Abstract
Article History Received: 2024-10-11 Revised: 2024-11-27 Published: 2024-12-01 Keywords: <i>Experiment;</i> <i>PjBL;</i> <i>Science and Engineering Practices.</i>	This study aims to analyze the implementation of Science and Engineering Practices (SEP) in physics practicum activities, focusing on three main aspects: readiness, implementation, and student results. This study used a quantitative descriptive approach through structured observation data collection of Physics classes. The aspects assessed included the readiness of practicum equipment and materials, the effectiveness of the division of tasks in the group, the active involvement of students, the application of the <i>Project Based Learning</i> (PjBL) method, and the ability of students to apply SEP, including experimental design, data collection and analysis, physics model making, and preparation of practicum report results. The results showed that implementing the physics practicum in the Good category had an average score of 76.2. The application of SEP, especially in the use of technology and the ability to work together, also contributed significantly to the effectiveness of the practicum. This finding confirms the importance of strengthening science and engineering practices in physics practicum learning and its implications for the development of students' scientific and technical skills.

Artikel Info	Abstrak
Sejarah Artikel Diterima: 2024-10-11 Direvisi: 2024-11-27 Dipublikasi: 2024-12-01 Kata kunci: <i>Praktikum;</i> <i>PjBL;</i> <i>Science and Engineering Practices.</i>	Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis implementasi <i>Science and Engineering Practices</i> (SEP) pada kegiatan praktikum fisika, dengan fokus pada tiga aspek utama yaitu kesiapan, pelaksanaan, dan hasil belajar siswa. Penelitian ini menggunakan pendekatan deskriptif kuantitatif melalui pengumpulan data observasi terstruktur pada kelas Fisika. Aspek yang dinilai meliputi kesiapan alat dan bahan praktikum, keefektifan pembagian tugas dalam kelompok, keterlibatan siswa secara aktif, penerapan metode PjBL, dan kemampuan siswa dalam mengaplikasikan KPS, meliputi perancangan percobaan, pengumpulan dan analisis data, pembuatan model fisika, dan penyusunan laporan hasil praktikum. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pelaksanaan praktikum fisika masuk dalam kategori Baik dengan nilai rata-rata 76,2. Penerapan SEP, terutama dalam penggunaan teknologi dan kemampuan bekerja sama, juga memberikan kontribusi yang signifikan terhadap efektivitas praktikum. Temuan ini menegaskan pentingnya penguatan praktikum sains dan teknik dalam pembelajaran praktikum fisika dan implikasinya terhadap pengembangan keterampilan sains dan teknik mahasiswa.

I. PENDAHULUAN

Pendidikan fisika sangat penting untuk memberikan siswa keterampilan ilmiah dan teknis yang dibutuhkan untuk menghadapi tantangan dunia yang digerakkan oleh teknologi saat ini (Mulhall, 2014). Melalui pendidikan fisika, siswa tidak hanya diajarkan pengetahuan dasar mengenai prinsip-prinsip ilmiah, tetapi juga dikembangkan dalam hal pemikiran kritis, kemampuan analisis, dan juga keterampilan pemecahan masalah yang relevan dengan konteks dunia nyata (Khikma, 2022). Salah satu aspek penting dalam pembelajaran fisika adalah praktikum, di mana siswa dapat menerapkan teori yang mereka pelajari dalam kelas ke dalam konteks praktis melalui eksperimen. Pengalaman langsung ini tidak hanya memperkuat konsep

teoritis tetapi juga menumbuhkan pemahaman yang lebih dalam tentang metode ilmiah, mendorong siswa untuk mengajukan pertanyaan, membuat pengamatan, dan menarik kesimpulan berdasarkan bukti empiris (Hidayat et al., 2020).

Namun, salah satu tantangan utama dalam pendidikan fisika adalah menjembatani kesenjangan antara teori dan praktik. Banyak siswa mengalami kesulitan dalam memahami bagaimana konsep-konsep teoretis yang diajarkan di kelas dapat diterapkan dalam eksperimen nyata. Kesenjangan ini sering kali menghambat pemahaman yang lebih mendalam dan retensi terhadap materi pelajaran. Untuk mengatasi hal ini, pendekatan SEP menjadi penting dalam pembelajaran berbasis laboratorium. Science and Engineering Practices (SEP)

adalah pendekatan dalam pendidikan sains yang menekankan keterlibatan aktif siswa dalam proses ilmiah dan rekayasa. SEP menekankan pembelajaran aktif di mana siswa terlibat langsung dalam merumuskan hipotesis, merancang eksperimen, mengumpulkan data, serta menganalisis hasil eksperimen untuk menarik kesimpulan ilmiah (Kim, 2018).

Salah satu aspek utama dari SEP adalah kemampuan siswa untuk merumuskan hipotesis yang dapat diuji. Menurut Chusna, proses ini melibatkan siswa dalam berpikir kritis dan kreatif saat mereka merancang eksperimen untuk menguji hipotesis tersebut Chusna (2023). Dengan demikian, siswa tidak hanya belajar tentang teori, tetapi juga terlibat dalam proses ilmiah yang nyata, yang memperkuat pemahaman mereka tentang konsep-konsep yang diajarkan. Setelah merancang eksperimen, siswa kemudian mengumpulkan data yang relevan. Proses ini penting untuk mengembangkan keterampilan analitis mereka. Farapatana et al. menunjukkan bahwa pengumpulan dan analisis data adalah bagian integral dari pembelajaran sains yang efektif, di mana siswa belajar untuk mengevaluasi hasil eksperimen dan menarik kesimpulan berdasarkan bukti yang ada (Farapatana et al., 2019). Hal ini membantu siswa memahami pentingnya data dalam mendukung atau membantah hipotesis yang telah mereka buat.

Setelah menganalisis data, siswa diharapkan dapat menarik kesimpulan yang logis dan berbasis bukti. SEP mendorong siswa untuk tidak hanya menerima informasi secara pasif, tetapi juga untuk berpikir kritis tentang apa yang mereka temukan. Dalam konteks ini, Sari dan Agung menekankan bahwa keterampilan berpikir kritis sangat penting dalam proses pembelajaran, dan SEP memberikan kerangka kerja yang memungkinkan siswa untuk mengembangkan keterampilan tersebut (Sari & Agung, 2023).

SEP juga berperan penting dalam pengembangan keterampilan berpikir kritis dan kolaboratif (Amin et al, 2022; Wibowo, 2024). Dengan merumuskan hipotesis, merancang eksperimen, mengumpulkan data, dan menganalisis hasil, siswa tidak hanya memperkuat pemahaman mereka tentang konsep-konsep ilmiah, tetapi juga mengembangkan keterampilan berpikir kritis yang sangat penting. Dalam konteks praktikum fisika, SEP mendorong siswa untuk bekerja dalam tim, berbagi ide, dan menyelesaikan masalah secara kolaboratif,

mencerminkan dinamika dunia kerja di bidang sains dan teknik. Penerapan SEP membantu siswa tidak hanya memahami materi fisika secara konseptual, tetapi juga mengembangkan kemampuan untuk merancang solusi teknis terhadap masalah nyata yang mereka hadapi selama praktikum. Beberapa penelitian menunjukkan bahwa siswa yang terlibat dalam kegiatan berbasis SEP menunjukkan peningkatan yang signifikan dalam kemampuan pemecahan masalah dan berpikir kritis (Schaben et al., 2022; Astalini et al., 2019).

Meskipun implementasi SEP telah diakui dalam pendidikan sains modern, penerapannya di dalam kegiatan praktikum fisika di sekolah atau perguruan tinggi masih memerlukan kajian yang lebih mendalam. Beberapa aspek yang perlu dianalisis lebih lanjut termasuk kesiapan laboratorium, efektivitas implementasi SEP dalam mendukung keterlibatan siswa secara aktif, dan dampak penerapan SEP terhadap hasil belajar siswa. Kajian mendalam tentang aspek-aspek ini akan memberikan gambaran yang lebih jelas tentang efektivitas SEP dan bagaimana praktik ini dapat ditingkatkan dalam konteks pendidikan fisika.

Berdasarkan latar belakang tersebut, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis implementasi SEP dalam kegiatan praktikum fisika. Penelitian ini akan berfokus pada tiga aspek utama: kesiapan peralatan dan materi praktikum, implementasi metode pembelajaran berbasis proyek, dan hasil belajar siswa dalam penerapan SEP. Diharapkan penelitian ini dapat memberikan wawasan yang lebih dalam tentang bagaimana SEP dapat memperbaiki kualitas pembelajaran praktikum fisika, serta memberikan rekomendasi bagi pendidik dan lembaga pendidikan dalam meningkatkan kualitas pembelajaran di laboratorium.

II. METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif deskriptif untuk menganalisis implementasi SEP dalam kegiatan praktikum fisika. Penelitian ini dirancang untuk mengevaluasi kesiapan, implementasi, dan hasil belajar siswa terkait penerapan SEP dalam praktikum fisika. Populasi dalam penelitian ini adalah seluruh siswa yang mengikuti praktikum fisika di program studi pendidikan fisika Universitas Lambung Mangkurat. Instrumen penelitian yang digunakan adalah Lembar Observasi. Lembar observasi digunakan untuk dapat mengevaluasi implementasi SEP dalam kegiatan praktikum.

Observasi dilakukan oleh peneliti dan asisten peneliti selama pelaksanaan praktikum. Aspek yang diamati meliputi kesiapan peralatan dan bahan praktikum, efektivitas pembagian tugas dalam kelompok, keterlibatan aktif siswa, serta penerapan metode PjBL. Data dikumpulkan dalam tiga tahap, yaitu Tahap Persiapan: Pada tahap ini, peneliti menyiapkan instrumen observasi yang telah diuji validitas dan reliabilitasnya. Uji validitas dilakukan melalui uji pakar (*expert judgment*), sedangkan reliabilitas diuji dengan menggunakan uji *Cronbach's Alpha* untuk memastikan konsistensi internal instrumen. Pelaksanaan Observasi: Observasi dilakukan selama tiga sesi praktikum yang melibatkan eksperimen fisika menggunakan metode PjBL. Peneliti dan asisten mengamati interaksi siswa, pembagian tugas, serta keterlibatan aktif siswa dalam proses eksperimen, analisis data, dan pembuatan laporan. Data yang terkumpul dianalisis dengan menggunakan statistik deskriptif. Rata-rata dan persentase digunakan untuk menggambarkan tingkat kesiapan laboratorium, pelaksanaan SEP, serta tangapan siswa terhadap praktikum fisika.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Hasil Penelitian

Tabel 1. Keterlaksanaan praktikum

Aspek pengamatan		Hasil	
		Nilai	Kategori
Persiapan	Kesiapan peralatan dan bahan praktikum.	76,0	Baik
	Pembagian tugas dalam kelompok	77,0	Baik
Pelaksanaan Kegiatan Praktikum	Penerapan metode <i>PjBL</i> dalam kegiatan praktikum.	76,0	Baik
	Keterlibatan aktif mahasiswa dalam setiap tahapan praktikum.	78,0	Baik
	Ketepatan waktu pelaksanaan praktikum.	76,0	Baik
	Penggunaan bahan dan peralatan secara efektif dan efisien.	77,0	Baik
	Keterampilan bekerja sama dalam tim.	77,0	Baik
	Kemampuan	75,0	Baik

Aspek pengamatan	Hasil		
	Nilai	Kategori	
	berkomunikasi dan berdiskusi selama kegiatan praktikum.		
Penerapan <i>Science and Engineering Practices</i>	Kemampuan mahasiswa dalam merancang eksperimen (<i>questioning and problem-solving</i>).	76,0	Baik
	Kemampuan mahasiswa dalam mengumpulkan dan menganalisis data.	75,0	Baik
	Kemampuan dalam membuat dan menggunakan model untuk menjelaskan fenomena fisika.	76,0	Baik
	Identifikasi kesalahan atau ketidaksesuaian dalam prosedur dan hasil, serta rekomendasi perbaikan.	76,0	Baik
	Pemanfaatan alat dan teknologi dalam pelaksanaan praktikum.	75,0	Baik
	Penyusunan dan presentasi laporan hasil praktikum.	77,0	Baik
	Rata-rata	76,2	Baik

B. Pembahasan

Hasil penelitian menunjukkan bahwa implementasi SEP dalam kegiatan praktikum fisika di Universitas Lambung Mangkurat tergolong dalam kategori "Baik," dengan skor rata-rata 76,2. Meskipun demikian, terdapat beberapa aspek yang memerlukan perhatian lebih lanjut untuk meningkatkan efektivitas kegiatan praktikum. Berdasarkan pengamatan, kesiapan alat dan bahan mencapai skor 76,0, menunjukkan bahwa mayoritas peralatan dan bahan telah disiapkan dengan baik untuk mendukung kelancaran kegiatan praktikum. Kesiapan ini menjadi faktor penting karena ketidaksiapan alat dan bahan dapat menghambat waktu dan kualitas pembelajaran. Menurut penelitian oleh Hamdani et al., (2019), kesiapan alat dan

bahan berkontribusi signifikan terhadap efektivitas pembelajaran, di mana siswa dapat melakukan eksperimen dengan lancar dan mendapatkan hasil yang valid. Hal ini mengarah pada pemahaman konsep yang lebih baik dan pengalaman belajar yang lebih positif. Peralatan yang memadai memungkinkan siswa untuk mengikuti setiap tahapan praktikum tanpa gangguan teknis. Namun, skor ini juga menunjukkan adanya keterbatasan dalam hal kualitas dan kuantitas peralatan yang disediakan. Faktor spesifik yang mungkin mempengaruhi kesiapan ini adalah anggaran untuk peralatan laboratorium, pemeliharaan berkala, serta ketersediaan staf laboratorium untuk mengelola dan mempersiapkan peralatan sebelum sesi praktikum dimulai.

Pembagian tugas dalam kelompok adalah aspek penting dalam pembelajaran kolaboratif, dan hasil pengamatan yang menunjukkan skor 77,0 mencerminkan efektivitas dalam membagi peran di antara anggota kelompok. Pembagian tugas yang baik tidak hanya meningkatkan keterlibatan aktif setiap anggota, tetapi juga memfasilitasi kolaborasi yang sehat (Mulya, 2023). Dalam konteks ini, setiap individu dapat berkontribusi sesuai dengan tanggung jawabnya, yang pada gilirannya dapat meningkatkan hasil belajar secara keseluruhan. Metode PjBL mendapat skor 76,0, yang menunjukkan bahwa metode ini telah diaplikasikan dengan cukup baik dalam mendorong keterlibatan aktif siswa. Namun, penerapan PjBL memerlukan persiapan yang intensif baik dari sisi dosen maupun siswa. Faktor spesifik yang memengaruhi hasil ini adalah pengalaman dosen dalam mengelola metode PjBL serta kesiapan siswa dalam bekerja secara mandiri dan kolaboratif (Nasution & Ambiyar, 2022). Mahasiswa masih perlu diberikan pelatihan khusus dalam manajemen proyek, termasuk pengaturan waktu dan pembagian peran dalam kelompok untuk lebih mengoptimalkan keterlibatan mereka.

Skor keterlibatan aktif sebesar 78,0 menunjukkan bahwa siswa secara umum terlibat dalam seluruh tahapan praktikum. Keterlibatan aktif ini penting untuk mencapai tujuan SEP, di mana siswa didorong untuk secara mandiri merancang eksperimen dan menganalisis data. Namun, skor ini menunjukkan ruang untuk peningkatan dalam mendorong partisipasi yang lebih mendalam.

Salah satu faktor yang memengaruhi keterlibatan aktif adalah tingkat pemahaman siswa terhadap konsep fisika yang mendasari percobaan. Siswa yang tidak memahami teori dengan baik merasa kurang percaya diri dan cenderung kurang aktif (Nurrindar & Wahjudi, 2021). Untuk itu, sebelum pelaksanaan praktikum, perlu adanya sesi pembekalan konsep fisika yang lebih mendalam agar siswa dapat berpartisipasi secara maksimal. Walaupun metode ini membutuhkan persiapan yang intensif dan alokasi waktu yang memadai, ketepatan waktu pelaksanaan praktikum tetap terjaga dengan skor 76,0, menunjukkan bahwa metode PjBL dapat mendukung efisiensi waktu tanpa mengorbankan kualitas kegiatan. Namun, diperlukan evaluasi lebih lanjut untuk mengatasi tantangan dalam pengelolaan waktu dan pembagian tugas yang efektif pada setiap tahap kegiatan PjBL.

Efektivitas dalam penggunaan alat dan bahan tercatat dengan skor 77,0, yang menunjukkan bahwa mahasiswa telah diarahkan dengan baik untuk menggunakan sumber daya secara efisien dan optimal. Ini penting dalam membentuk kesadaran akan manajemen sumber daya, yang merupakan salah satu tujuan dalam pendidikan laboratorium. Penggunaan alat dan bahan yang efektif didukung oleh perencanaan praktikum yang rinci dan instruksi yang jelas dari dosen (Astuti, 2020). Faktor-faktor ini berkontribusi terhadap pembentukan keterampilan pemanfaatan peralatan laboratorium secara bijak yang esensial bagi praktik sains dan teknik.

Kemampuan kolaborasi dan komunikasi dalam kelompok mendapatkan skor rata-rata sekitar 76-77,0, yang mencerminkan keterampilan kerjasama yang cukup baik tetapi masih perlu peningkatan. Faktor-faktor yang memengaruhi hasil ini termasuk pengalaman kerja kelompok sebelumnya, pembagian peran yang jelas dalam tim, dan kesempatan untuk diskusi selama praktikum. Selain itu, mahasiswa mungkin perlu dilatih dalam komunikasi ilmiah, terutama dalam menyampaikan ide dan hasil percobaan secara sistematis. Peningkatan keterampilan komunikasi ini akan membantu siswa dalam mengembangkan argumen yang kuat dan menjelaskan temuan mereka secara lebih jelas (Suleman, 2024).

Dalam aspek penerapan praktik sains dan teknik, beberapa keterampilan utama diperhatikan, yaitu: merancang eksperimen

dengan skor 76,0, mahasiswa menunjukkan kemampuan baik dalam merancang eksperimen dan menyelesaikan masalah yang terkait dengan tujuan praktikum. Keterampilan ini mencerminkan pemahaman terhadap metode ilmiah dan kemampuan mahasiswa dalam mengajukan pertanyaan serta merumuskan hipotesis yang relevan. Pengumpulan dan analisis data dengan skor 75,0 menunjukkan bahwa mahasiswa memiliki keterampilan dasar yang baik dalam pengumpulan data, namun masih menghadapi tantangan dalam melakukan analisis data yang mendalam. Keterampilan ini merupakan komponen penting dalam praktik sains dan teknik, yang mencakup kemampuan memahami hasil eksperimen dan menafsirkan data secara kritis. Pembuatan dan penggunaan model dengan skor 76,0 menunjukkan bahwa mahasiswa mampu membuat dan menggunakan model untuk menjelaskan fenomena fisika, yang merupakan aspek penting dalam penerapan teknik untuk menjelaskan dan memprediksi hasil eksperimen. Keterampilan ini juga membantu mahasiswa menghubungkan teori dengan fenomena nyata (Fajariningtyas & Hidayat, 2020).

Identifikasi kesalahan dan rekomendasi perbaikan dengan skor 76,0, kemampuan mahasiswa dalam mengidentifikasi kesalahan atau ketidaksesuaian dalam prosedur dan hasil eksperimen cukup baik. Mereka mampu memberikan rekomendasi perbaikan, yang penting dalam pengembangan keterampilan kritis dan kemampuan evaluasi diri, yang merupakan komponen esensial dalam praktik sains dan teknik. Pemanfaatan teknologi dengan skor 75,0 untuk pemanfaatan teknologi dalam praktikum menunjukkan bahwa mahasiswa memerlukan lebih banyak pengalaman untuk dapat mengoptimalkan penggunaan alat dan teknologi. Teknologi sangat berperan dalam praktik sains modern, dan peningkatan keterampilan dalam menggunakan alat digital dapat membantu mahasiswa mencapai hasil yang lebih akurat dan efisien.

Penyusunan dan penyajian laporan praktikum memperoleh skor 77,0, yang menunjukkan bahwa mahasiswa mampu merangkum hasil eksperimen dengan baik. Keterampilan ini penting dalam komunikasi ilmiah, di mana mahasiswa melatih kemampuan mereka dalam menyajikan informasi secara sistematis dan kritis (Mayani et al.,

2023). Laporan yang baik juga memperkuat pemahaman mahasiswa mengenai keseluruhan proses dan hasil praktikum, serta mengasah kemampuan mereka dalam menyampaikan temuan ilmiah.

Implementasi SEP dalam praktikum fisika telah menunjukkan beberapa tantangan dan manfaat yang signifikan bagi mahasiswa. Berdasarkan wawancara dengan sejumlah mahasiswa, beberapa kendala yang dihadapi antara lain berkaitan dengan penggunaan teknologi dan pembagian tugas dalam kelompok. Mahasiswa mengungkapkan bahwa mereka sering menemui kesulitan dalam mengoperasikan alat-alat teknologi yang diperlukan untuk pengumpulan data. Seperti yang diungkapkan oleh Mahasiswa A dari semester 2, ketidaktersediaan pelatihan yang cukup mengenai penggunaan alat-alat tersebut menyebabkan mereka memerlukan waktu lebih lama untuk memahami fungsinya. Hal ini menunjukkan bahwa, meskipun SEP menekankan pada penggunaan teknologi, kesiapan mahasiswa dalam hal keterampilan teknis masih perlu ditingkatkan melalui pelatihan awal. Selain itu, Mahasiswa B menyoroti tantangan dalam merancang eksperimen sendiri, di mana mereka merasa perlu mendapatkan arahan lebih lanjut dari dosen untuk memahami cara merumuskan hipotesis dan menyusun metode penelitian yang efektif. Kendala ini menyoroti pentingnya bimbingan dosen dalam mengimplementasikan SEP agar mahasiswa dapat lebih terarah dalam setiap tahap praktikum.

Di sisi lain, mahasiswa juga merasakan berbagai manfaat dari penerapan SEP, terutama dalam pengembangan keterampilan kolaborasi dan pemahaman konsep fisika secara praktis. Mahasiswa C menyatakan bahwa metode SEP membantu mereka untuk lebih terlibat dalam diskusi kelompok, berbagi ide, dan memecahkan masalah bersama, yang menurut mereka sangat relevan dengan situasi kerja nyata. Ini sejalan dengan tujuan SEP yang mendorong kolaborasi dan berpikir kritis sebagai bagian dari pengalaman belajar. Selain itu, Mahasiswa D menyatakan bahwa dengan SEP, konsep-konsep fisika menjadi lebih mudah dipahami karena mereka berkesempatan untuk merancang eksperimen sendiri dan menganalisis data secara mandiri. Refleksi ini menunjukkan bahwa metode SEP berhasil meningkatkan keterampilan berpikir

analitis mahasiswa dan memperkuat pemahaman konsep fisika dalam konteks praktis.

Temuan ini memberikan wawasan penting untuk pengembangan praktikum fisika di masa depan. Beberapa langkah yang dapat dilakukan untuk meningkatkan efektivitas pembelajaran praktikum di antaranya adalah memperbanyak pelatihan dalam analisis data, meningkatkan keterampilan penggunaan alat digital, dan memberikan lebih banyak bimbingan dalam komunikasi ilmiah selama kegiatan laboratorium. Strategi-strategi ini akan mendorong mahasiswa dalam mengembangkan keterampilan praktik sains dan teknik secara lebih komprehensif, serta menyiapkan mereka untuk menghadapi tantangan yang lebih besar dalam bidang sains dan teknik.

IV. SIMPULAN DAN SARAN

A. Simpulan

Kesimpulan penelitian ini menunjukkan bahwa implementasi praktik SEP dalam praktikum fisika berjalan efektif, ditunjang oleh kesiapan laboratorium yang baik serta pembagian tugas yang efisien. Metode PjBL berhasil meningkatkan keterlibatan mahasiswa, efektivitas penggunaan alat, dan keterampilan kolaborasi. Mahasiswa telah menunjukkan kemampuan baik dalam merancang eksperimen, menganalisis data, dan membuat model. Namun, peningkatan keterampilan analitis dalam pemanfaatan teknologi dan analisis data lebih lanjut diperlukan untuk optimalisasi pembelajaran.

B. Saran

Secara keseluruhan, praktikum ini telah mencapai kategori "Baik," dengan rekomendasi pengembangan di aspek teknologi dan analisis data untuk memperkuat kompetensi mahasiswa dalam praktik SEP

DAFTAR RUJUKAN

Amin, S., Sumarmi, S., Bachri, S., Susilo, S., Mkumbachi, R., & Khozi, A. (2022). Improving environmental sensitivity through problem-based hybrid learning (pbhl): an experimental study. *Jurnal Pendidikan Ipa Indonesia*, 11(3), 387-398. <https://doi.org/10.15294/jpii.v11i3.38071>

Astalini, A., Kurniawan, W., Anwar, K., & Kurniawan, D. (2019). Effectiveness of using e-module and e-assessment. *International Journal of Interactive Mobile Technologies*

(Ijim), 13(09), 21.
<https://doi.org/10.3991/ijim.v13i09.11016>

Astuti, R. (2020). *Manajemen laboratorium yang cerdas, cermat, dan selamat*. CV Jejak (Jejak Publisher).

Chun, M., Kang, K., Kim, Y., & Kim, Y. (2015). Theme-based project learning: design and application of convergent science experiments. *Universal Journal of Educational Research*, 3(11), 937-942. <https://doi.org/10.13189/ujer.2015.031120>

Crotty, E., Guzey, S., Roehrig, G., Glancy, A., Dare, E., & Moore, T. (2017). Approaches to integrating engineering in stem units and student achievement gains. *Journal of Pre-College Engineering Education Research (J-Peer)*, 7(2). <https://doi.org/10.7771/2157-9288.1148>

Chusna, C. (2023). Penerapan model pbl hybrid dan pbl berbasis steam terhadap pemahaman konsep dasar-dasar listrik siswa smk teknik instalasi tenaga listrik. *Edukatif Jurnal Ilmu Pendidikan*, 5(6), 2542-2548. <https://doi.org/10.31004/edukatif.v5i6.5715>

Fajariningtyas, D. A., & Hidayat, J. N. (2020). Pengembangan petunjuk praktikum berorientasi pemecahan masalah sebagai sarana berlatih keterampilan proses dan hasil belajar mahasiswa IPA Universitas Wiraraja. *Jurnal Pendidikan Sains Indonesia (Indonesian Journal of Science Education)*, 8(2), 152-163. <https://doi.org/10.24815/jpsi.v8i2.15515>

Farapatana, E., Anwar, Y., & Abdillah, A. (2019). Pengembangan komik matematika dengan metode preview, question, read, reflect, recite, & review (pq4r) pada materi lingkaran kelas viii smp. *Jtam (Jurnal Teori Dan Aplikasi Matematika)*, 3(1), 01. <https://doi.org/10.31764/jtam.v3i1.755>

Feille, K., Pyle, J., Marshall, J., & Wildes, A. (2022). It's not a perfect thing: facilitating an

- independent engineering fair with fifth grade students. *Impacting Education Journal on Transforming Professional Practice*, 7(3), 11-19. <https://doi.org/10.5195/ie.2022.250>
- Hamdani, M., Prayitno, B. A., & Karyanto, P. (2019). Meningkatkan kemampuan berpikir kritis melalui metode eksperimen. In *Proceeding Biology Education Conference: Biology, Science, Enviromental, and Learning* (Vol. 16, No. 1, pp. 139-145).
- Hidayat, R., Hakim, L., & Lia, L. (2019). Pengaruh model guided discovery learning berbantuan media simulasi PhET terhadap pemahaman konsep fisika siswa. *Berkala Ilmiah Pendidikan Fisika*, 7(2), 97-104. <http://dx.doi.org/10.20527/bipf.v7i2.5900>
- Khikma, I., Sudarti, S., & Yushardi, Y. (2022). Analisis kemampuan berfikir kritis mahasiswa pendidikan fisika terhadap pengelolaan sampah menjadi refuse derived fuel (rdf) dengan perlakuan biodrying. *Silampari Jurnal Pendidikan Ilmu Fisika*, 4(2), 98-113. <https://doi.org/10.31540/sjipif.v4i2.1695>
- Kim, E., Oliver, J., & Kim, Y. (2018). Engineering design and the development of knowledge for teaching among preservice science teachers. *School Science and Mathematics*, 119(1), 24-34. <https://doi.org/10.1111/ssm.12313>
- Koculu, A. and Topçu, M. (2022). Exploration of pre-service science teachers' engineering design performance development. *European Journal of Education Studies*, 9(10). <https://doi.org/10.46827/ejes.v9i10.4486>
- Mulhall, P. J. (2014). *Physics Teacher Education*. https://doi.org/10.1007/978-94-007-6165-0_231-4
- Mulya, N. (2023). Pembelajaran ipa kolaboratif: siswa reguler dan anak berkebutuhan khusus berkontribusi aktif dalam mencapai tujuan bersama. *Jurnal Pendidikan Mipa*, 13(2), 473-477. <https://doi.org/10.37630/jpm.v13i2.1031>
- Nasution, T. and Ambiyar, A. (2022). Model project-based learning untuk meningkatkan hasil belajar di perguruan tinggi. *Edukasi Jurnal Pendidikan*, 20(1), 152-165. <https://doi.org/10.31571/edukasi.v20i1.3675>
- Naviri, S., Sumaryanti, S., & Paryadi, P. (2021). Explanatory learning research: problem-based learning or project-based learning?. *Acta Facultatis Educationis Physicae Universitatis Comenianae*, 61(1), 107-121. <https://doi.org/10.2478/afepuc-2021-0010>
- Nesmith, S. and Cooper, S. (2021). Connecting engineering design and inquiry cycles: impact on elementary preservice teachers' engineering efficacy and perspectives toward teaching engineering. *School Science and Mathematics*, 121(5), 251-262. <https://doi.org/10.1111/ssm.12469>
- Nurrindar, M. and Wahjudi, E. (2021). Pengaruh self-efficacy terhadap keterlibatan siswa melalui motivasi belajar. *Jurnal Pendidikan Akuntansi (Jpak)*, 9(1), 140-148. <https://doi.org/10.26740/jpak.v9n1.p140-148>
- Sari, N. and Agung, A. (2023). Pengaruh model pembelajaran kooperatif tipe stad berbantuan media poster terhadap kompetensi pengetahuan ipa siswa. *Jurnal Media Dan Teknologi Pendidikan*, 3(1), 10-20. <https://doi.org/10.23887/jmt.v3i1.54749>
- Schaben, C., Andersson, J., & Cutucache, C. (2022). A multiple case study to understand how students experience science and engineering practices. *Frontiers in Education*, 7. <https://doi.org/10.3389/feduc.2022.960346>
- Suleman, M. A. (2024). Meningkatkan Keterampilan Komunikasi Siswa melalui Penerapan Experiential Learning. *Ideguru: Jurnal Karya Ilmiah Guru*, 9(3), 1530-1538. <https://doi.org/10.51169/ideguru.v9i3.1101>
- Tulandi, D. and Rondonuwu, T. (2019). Development of physical practicum guidelines with mentorship approach using

- problem based learning model. JEP. <https://doi.org/10.7176/jep/10-22-07>
- Wibowo, A. (2024). Critical thinking and collaboration skills on environmental awareness in project-based science learning. *Jurnal Pendidikan IPA Indonesia*, 13(1), 103-115. <https://doi.org/10.15294/jpii.v13i1.48561>
- Yang, Y., Yang, F., Lu, H., & Li, X. (2020). New attempt of curriculum reform: a case study of physics steam curriculum in a senior high school. *Research in Education Assessment and Learning*, 5(2). <https://doi.org/10.37906/real.2020.5>