

***Development Of A Biotechnology Module For Compost Fertilizer From Oil Palm Fronds Based On Project Based Learning (PjBL) To Improve The Collaborative Skills Of Junior High School Students***

***Pengembangan Modul Bioteknologi Pupuk Kompos Dari Pelepah Sawit Berbasis Project Based Learning (PjBL) Untuk Meningkatkan Kemampuan Kolaborasi Siswa SMP***

**Yosita Cc<sup>1</sup>, Meirita Sari<sup>2</sup>**

<sup>1,2,3</sup>Tadris Ipa/, Universitas Islam Negeri Fatmawati Sukarno Bengkulu, Indonesia

Email : <sup>1</sup>[Cahayacipta24@gmail.com](mailto:Cahayacipta24@gmail.com), <sup>2</sup>[meiritasari@mail.uinfasbengkulu.ac.id](mailto:meiritasari@mail.uinfasbengkulu.ac.id)

\*Corresponding Author

---

Received : 20 March 2026, Revised : 30 March 2026, Accepted : 30 March 2026.

---

**ABSTRACT**

*Science learning at the junior high school level still faces challenges in optimizing students' collaborative skills and utilizing the potential of the surrounding environment as a contextual learning resource. This study aims to develop a Project-Based Learning (PjBL) learning module on biotechnology through the utilization of palm oil frond waste into compost at SMP Negeri 19 Seluma. The method used was Research and Development (R&D) with the ADDIE model, which includes the stages of analysis, design, development, implementation, and evaluation. The research subjects were ninth-grade students. The research instruments included expert validation sheets, observation sheets, student response questionnaires, and a collaboration ability assessment rubric. The validation results showed that the module was categorized as very feasible, with assessment percentages from material experts of 93.33%, language experts 88.15%, and media experts 86.30%. The module implementation showed that students' collaboration abilities were categorized as high, with rubric scores for group 1 of 72.31% and group 2 of 87.69%. Furthermore, the student questionnaire results yielded an average percentage of 82.38%, categorized as good. Based on these findings, the developed module is deemed feasible and effective as an alternative science learning resource.*

**Keywords:** *Biotechnology, Student Collaboration, Palm Oil Frond Waste, Module, Project-Based Learning*

**ABSTRAK**

Pembelajaran IPA di tingkat SMP masih menghadapi tantangan dalam mengoptimalkan kemampuan kolaborasi siswa serta memanfaatkan potensi lingkungan sekitar sebagai sumber belajar yang kontekstual. Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan modul pembelajaran berbasis *Project Based Learning* (PjBL) pada materi bioteknologi melalui pemanfaatan limbah pelepah sawit menjadi pupuk kompos di SMP Negeri 19 Seluma. Metode yang digunakan adalah *Research and Development* (R&D) dengan model ADDIE yang meliputi tahap analisis, desain, pengembangan, implementasi, dan evaluasi. Subjek penelitian adalah siswa kelas IX. Instrumen penelitian meliputi lembar validasi ahli, lembar observasi, angket respon siswa, dan rubrik penilaian kemampuan kolaborasi. Hasil validasi menunjukkan bahwa modul berada pada kategori sangat layak, dengan persentase penilaian ahli materi sebesar 93,33%, ahli bahasa **88,15%**, dan ahli media **86,30%**. Implementasi modul menunjukkan kemampuan kolaborasi siswa berada pada kategori tinggi, dengan persentase skor rubrik kelompok 1 sebesar **72,31%** dan kelompok 2 sebesar **87,69%**. Selain itu, hasil angket respon siswa memperoleh persentase rata-rata sebesar **82,38%** dengan kategori baik. Berdasarkan temuan tersebut, modul yang dikembangkan dinyatakan layak dan efektif digunakan sebagai alternatif sumber belajar IPA.

**Kata Kunci:** *Bioteknologi, Kolaborasi Siswa, Limbah Pelepah Sawit, Modul, Pembelajaran Berbasis Proyek*

## 1. Pendahuluan

Pembelajaran abad ke-21 menuntut peserta didik untuk memiliki berbagai keterampilan abad modern, salah satunya adalah keterampilan kolaborasi. Keterampilan ini menjadi kompetensi penting dalam menghadapi perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi serta tantangan sosial global (Trilling & Fadel, 2009). Kolaborasi tidak hanya menekankan kemampuan bekerja sama dalam kelompok, tetapi juga mencakup kemampuan berbagi pendapat, bertanggung jawab terhadap tugas, menghargai perbedaan pandangan, serta mengintegrasikan ide secara kolektif dalam menyelesaikan permasalahan (Greenstein, 2012). Oleh karena itu, pendidik dituntut untuk menghadirkan pembelajaran yang tidak hanya terfokus pada penguasaan materi, tetapi juga mampu memberikan pengalaman belajar yang bermakna yang mendorong keterlibatan aktif peserta didik.

Salah satu model pembelajaran yang relevan untuk meningkatkan kemampuan kolaborasi peserta didik adalah *Project Based Learning* (PjBL). Model pembelajaran ini menekankan pada keterlibatan peserta didik dalam proyek nyata yang menuntut kerja sama kelompok dalam merencanakan kegiatan, mengolah data, mengambil keputusan, memecahkan masalah, serta menghasilkan produk sebagai hasil belajar (Thomas, 2000; Bell, 2010). Dalam pembelajaran Ilmu Pengetahuan Alam (IPA), khususnya pada materi bioteknologi, penerapan PjBL dinilai tepat karena mampu mengembangkan keterampilan berpikir ilmiah, kreativitas, serta pembelajaran konsep yang dikaitkan dengan konteks kehidupan sehari-hari dan lingkungan sekitar peserta didik (Arifin & Kurniawati, 2021).

Kabupaten Seluma memiliki potensi lokal berupa limbah pelepah sawit yang melimpah. Selama ini, limbah pelepah sawit belum dimanfaatkan secara optimal dan cenderung menjadi limbah buangan yang berpotensi mencemari lingkungan. Padahal, pelepah sawit dapat diolah menjadi pupuk kompos melalui proses bioteknologi sederhana yang relevan untuk dikembangkan dalam pembelajaran IPA berbasis proyek (Fitria & Saputri, 2023). Pemanfaatan potensi lokal tersebut tidak hanya memberikan pengalaman belajar yang kontekstual, namun juga berkontribusi dalam menumbuhkan kesadaran dan kepedulian lingkungan pada peserta didik. Namun, penelitian pengembangan modul PjBL berbasis limbah pelepah sawit yang secara khusus mengukur kemampuan kolaborasi siswa SMP masih terbatas. Selain itu, ketersediaan bahan terbuka berupa modul pembelajaran yang mendukung penerapan PjBL dengan memanfaatkan potensi lokal masih terbatas. Kondisi tersebut berdampak pada rendahnya kemampuan kolaborasi peserta yang diajarkan dalam proses pembelajaran.

Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan modul pembelajaran berbasis *Project Based Learning* pada materi bioteknologi pemanfaatan limbah pelepah sawit untuk produksi pupuk kompos sebagai upaya meningkatkan kemampuan kolaborasi peserta didik di SMP Negeri 19 Seluma. Modul yang dikembangkan diharapkan dapat menjadi sumber belajar alternatif yang inovatif, kontekstual, dan efektif dalam mendukung pembelajaran IPA di tingkat SMP.

## 2. Metode

Penelitian ini menggunakan metode *Research and Development (R&D)* yang bertujuan untuk mengembangkan serta menguji kelayakan modul pembelajaran berbasis *Project Based Learning* (PjBL). Model pengembangan yang digunakan adalah **ADDIE** yang meliputi lima tahapan, yaitu Analisis, Desain, Pengembangan, Implementasi, dan Evaluasi (Branch, 2009). Tahap Analisis dilakukan untuk mengkaji kebutuhan pembelajaran, karakteristik peserta didik, kurikulum yang berlaku, serta potensi lingkungan lokal yang relevan dengan materi bioteknologi. Tahap Perancangan meliputi penyusunan struktur modul, penyusunan tujuan pembelajaran dan indikator pencapaian kompetensi, pemilihan media pembelajaran, serta perancangan instrumen evaluasi. Selanjutnya pada tahap Pengembangan dilakukan penyusunan modul PjBL

pemanfaatan limbah pelepah sawit yang kemudian divalidasi oleh ahli materi dan ahli media, serta direvisi berdasarkan saran dan masukan dari para validator.

Tahap Implementasi dilaksanakan dengan menerapkan modul pada pembelajaran IPA kelas IX SMP Negeri 19 Seluma menggunakan model PjBL, di mana peserta didik bekerja secara berkelompok untuk menghasilkan produk pupuk kompos berbahan dasar limbah pelepah sawit sesuai alur kegiatan dalam modul. Tahap Evaluasi dilakukan untuk menilai kelayakan dan efektivitas modul terhadap peningkatan kemampuan kolaborasi peserta didik melalui analisis data hasil pembelajaran. Subjek penelitian ini adalah peserta didik kelas IX SMP Negeri 19 Seluma dengan instrumen pengumpulan data berupa lembar validasi ahli, lembar observasi, rubrik penilaian respon peserta didik, dan rubrik penilaian kemampuan kolaborasi. Teknik analisis data dilakukan secara **deskriptif kuantitatif dan deskriptif kualitatif** untuk mengetahui tingkat kelayakan modul serta peningkatan kemampuan kolaborasi peserta didik setelah penerapan modul pembelajaran berbasis PjBL (Sugiyono, 2019; Thomas, 2000).

### 3. Hasil Dan Pembahasan

#### 1. Hasil

##### a. Perbandingan Modul Pembelajaran Sebelum dan Sesudah Validasi Ahli

**Tabel 1. Perbandingan Modul Sebelum dan Sesudah Validasi**

No	Aspek yang Dinilai	Sebelum Validasi	Sesudah Validasi	Hasil
1	Kelayakan Isi	Materi belum sistematis	Materi sudah sistematis dan lengkap	93,33% (Sangat Layak)
2	Kebahasaan	Bahasa kurang jelas	Bahasa jelas dan komunikatif	88,15% (Sangat Layak)
3	Penyajian	Penyajian belum runtut	Penyajian runtut dan sesuai PjBL	Sangat Layak
4	Kegrafikan	Tampilan kurang menarik	Tampilan lebih menarik	86,30% (Sangat Layak)

Hasil validasi ahli menunjukkan adanya perbaikan modul setelah melalui proses revisi. Sebelum validasi, modul masih memiliki beberapa kelemahan pada aspek sistematika materi, kejelasan bahasa, penyajian aktivitas proyek, dan tampilan grafis. Setelah dilakukan revisi berdasarkan masukan ahli, modul mengalami peningkatan kualitas pada seluruh aspek. Persentase kelayakan yang diperoleh yaitu sebesar 93,33% pada aspek materi, 88,15% pada aspek bahasa, dan 86,30% pada aspek media, yang seluruhnya berada pada kategori sangat layak.

##### b. Hasil Validasi Modul oleh Ahli

**Tabel 2. Hasil Validasi Modul oleh Ahli**

Validator	Aspek yang Dinilai	Persentase (%)	Kategori
Ahli Materi	Kelayakan isi dan kesesuaian materi	93,33	Sangat layak
Ahli Bahasa	Kebahasaan dan kejelasan kalimat	88,15	Sangat layak
Ahli Media	Penyajian dan kegrafikan modul	86,30	Sangat layak
<b>Rata-rata</b>		<b>89,26</b>	<b>Sangat layak</b>

Hasil validasi menunjukkan bahwa modul yang dikembangkan berada pada kategori sangat layak. Persentase penilaian ahli materi sebesar 93,33%, ahli bahasa sebesar 88,15%, dan ahli media sebesar 86,30%, dengan rata-rata keseluruhan sebesar 89,26%.

**c. Skor Rubrik Penilaian Kemampuan Kolaborasi Siswa**

Kemampuan kolaborasi siswa selama pembelajaran menggunakan modul berbasis *Project Based Learning* (PjBL) diukur melalui lembar observasi rubrik kolaborasi. Penilaian dilakukan pada setiap kelompok untuk mengetahui tingkat keterampilan kerja sama siswa selama kegiatan proyek berlangsung. Hasil penilaian kemampuan kolaborasi siswa disajikan pada Tabel 2.

**Tabel 3. Hasil Penilaian Kemampuan Kolaborasi Siswa**

Kelompok	Skor Rata-rata (%)	Kategori
Kelompok 1	72,31%	Tinggi
Kelompok 2	87,69%	Tinggi
<b>Rata-rata</b>	<b>80%</b>	<b>Tinggi</b>

Hasil penilaian kemampuan kolaborasi siswa menunjukkan bahwa seluruh kelompok berada pada kategori tinggi. Kelompok 1 memperoleh persentase sebesar 72,31% dan kelompok 2 sebesar 87,69%, dengan rata-rata keseluruhan sebesar 80%. Hal ini menunjukkan bahwa penggunaan modul berbasis PjBL mampu meningkatkan kemampuan kolaborasi siswa.

**d. Respon Siswa terhadap Modul PjBL**

Respon siswa terhadap penggunaan modul berbasis *Project Based Learning* (PjBL) diperoleh melalui angket yang diberikan setelah kegiatan pembelajaran. Angket ini bertujuan untuk mengetahui tanggapan siswa terhadap penggunaan modul dalam proses pembelajaran. Hasil respon siswa terhadap modul PjBL disajikan pada tabel berikut.

**Tabel 4. Respon Siswa terhadap Modul PjBL**

Aspek Penilaian	Persentase (%)	Kategori
Respon siswa terhadap penggunaan modul PjBL	82,38	Baik

Berdasarkan hasil angket, diperoleh persentase rata-rata sebesar 82,38% yang berada pada kategori baik. Hal ini menunjukkan bahwa modul yang dikembangkan mendapat respon positif dari siswa dan dinilai membantu dalam memahami materi serta mendukung kegiatan pembelajaran berbasis proyek.

**e. Hasil Uji Paired Sample t-test**

Untuk mengetahui keefektifan penggunaan modul pembelajaran, dilakukan uji statistik menggunakan uji t sampel berpasangan terhadap nilai pretest dan posttest siswa. Uji ini bertujuan untuk melihat apakah terdapat perbedaan yang signifikan pada hasil belajar siswa sebelum dan sesudah diberikan perlakuan pembelajaran. Hasil pengujian statistik disajikan pada Tabel 5.

**Tabel 5. Hasil Uji Paired Sample t-test Kemampuan Kolaborasi Siswa**

		Paired Differences					t	df	Sig. (2-tailed)
		Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean	95% Confidence Interval of the Difference				
Pair	Pretest - Posttest				Lower	Upper			
1	Pretest - Posttest	-22.400	19.371	3.874	-30.396	-14.404	-5.782	24	.000

Untuk mengetahui adanya perbedaan yang signifikan antara hasil belajar IPA sebelum dan sesudah diberikan perlakuan, dilakukan uji berpasangan. Hasil pengujian menunjukkan bahwa rata-rata selisih antara pretest dan posttest sebesar -22,40 dengan standar deviasi 19,37. Nilai thitung sebesar -5,782 dengan derajat kebebasan 24 dan taraf signifikansi 0,000 ( $p < 0,05$ ). Hasil ini menunjukkan adanya perbedaan yang signifikan secara statistik antara hasil belajar

sebelum dan sesudah perlakuan. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa penerapan perlakuan memiliki efektivitas yang nyata dalam meningkatkan hasil belajar IPA siswa.

## 2. Pembahasan

Selain analisis deskriptif, efektivitas modul *Project Based Learning* (PjBL) terhadap peningkatan kemampuan kolaborasi siswa diperkuat melalui analisis inferensial menggunakan uji *paired sample t-test* berbantuan SPSS. Hasil pengujian menunjukkan nilai signifikansi (Sig. 2-tailed) sebesar  $0,000 < 0,05$ , yang menandakan adanya perbedaan yang signifikan antara kemampuan kolaborasi siswa sebelum dan sesudah penerapan modul PjBL. Peningkatan nilai rata-rata setelah pembelajaran berbasis proyek menunjukkan bahwa modul PjBL berbasis pemanfaatan limbah pelepah sawit berpengaruh positif terhadap pengembangan keterampilan kolaborasi siswa.

Untuk meningkatkan kualitas modul pembelajaran yang dikembangkan, peneliti melakukan proses revisi berdasarkan masukan dan saran dari validator. Revisi ini bertujuan untuk menyempurnakan aspek kelayakan isi, kebahasaan, penyajian, dan kegrafikan agar modul lebih sesuai dengan karakteristik pembelajaran berbasis *Project Based Learning* (PjBL). Adapun perbandingan modul sebelum dan sesudah revisi ditunjukkan melalui beberapa komponen utama, meliputi capaian pembelajaran, kelengkapan materi, penyajian glosarium, serta aspek evaluasi, sebagaimana ditampilkan pada Gambar 1 sampai dengan Gambar 8 berikut.



**Gambar 1.** Sebelum revisi: Capaian pembelajaran masih fokus pada hasil akhir pembelajaran.



**Gambar 2.** Sesudah revisi: Capaian pembelajaran mencakup proses dan hasil, seperti: kemampuan, bekerja sama dalam kelompok, merefleksikan proses pembuatan kompos, serta memanfaatkan limbah pelepah sawit secara berkelanjutan.



**Gambar 3.**  
Sebelum revisi:

Modul pembelajaran belum memuat informasi mengenai unsur hara yang terkandung dalam pupuk yang dihasilkan, sehingga siswa belum memperoleh gambaran kuantitatif terkait persentase kandungan unsur hara pada pupuk kompos yang dibuat.

Tabel 2.1 Kandungan Unsur Hara Kompos Pelempah Sawit

Unsur Hara	Perkiraan Persentase / Nilai	Keterangan
Nitrogen (N)	± 2,6 - 2,9 %	Sumber utama nutrisi bagi pertumbuhan tanaman
Fosfor (P)	± 0,16 - 0,19 %	Penting untuk perkembangan akar dan bunga
Kalium (K)	± 1,1 - 1,3 %	Meningkatkan ketahanan tanaman terhadap stres
Karbon Organik (C-Organic)	± 40 - 50 %	Meningkatkan struktur dan kesuburan tanah
Rasio C/N	± 30 : 1 - 20 : 1	Ukuran kematangan kompos
Ca, Mg, Zn, Fe	Trace - beberapa persen kecil	Elemen mikro penting untuk fungsi fisiologi tanaman

**Gambar 4.**

Sesudah revisi:  
Modul pembelajaran telah dilengkapi dengan unsur hara yang terdapat pada pupuk yang dihasilkan beserta persentase kandungannya, sehingga siswa dapat memahami informasi komposisi nutrisi pupuk secara lebih jelas dan terukur.



**Gambar 5.**  
Sebelum revisi:

- Glosarium disajikan dalam bentuk daftar poin (bullet).
- Istilah dan definisi belum terstruktur secara visual.
- Kurang memudahkan siswa untuk menemukan istilah-istilah tertentu dengan cepat.



**Gambar 6.**

- Glosarium disajikan dalam bentuk tabel dua kolom (istilah dan definisi).
- Setiap istilah ditulis terpisah dan
- Tampilan menjadi lebih sistematis dan rapi.



**Gambar 7.**  
Sebelum revisi:  
Aspek evaluasi masih bersifat umum dan belum disusun secara sistematis.



**Gambar 8.**  
Sesudah revisi:  
Penghapusan kalimat “evaluasi” pada bagian 3.1 . Lebih Sistematis dan Terarah Tujuan dan aspek evaluasi disusun secara runtut sehingga mudah dipahami dan diterapkan.

Hasil tersebut didukung oleh validasi ahli yang menyatakan bahwa modul PjBL yang dikembangkan melalui model **ADDIE** berada pada kategori sangat layak. Tingginya skor pada aspek kelayakan isi dan kedalaman konsep menunjukkan bahwa materi telah sesuai dengan kompetensi dasar IPA SMP serta disusun secara sistematis dan ilmiah. Selain itu, penilaian sangat layak dari validator media menunjukkan bahwa modul memiliki tampilan yang menarik, sistematika penyajian yang jelas, serta petunjuk proyek yang mudah dipahami, sehingga mendukung pelaksanaan pembelajaran berbasis proyek secara optimal. Pada tahap implementasi, penggunaan modul PjBL mampu meningkatkan kemampuan kolaborasi siswa secara bertahap. Aktivitas seperti pembagian tugas, diskusi kelompok, pengambilan keputusan, dan kerja sama dalam proyek pembuatan pupuk kompos dari limbah pelepah sawit menunjukkan peningkatan yang konsisten. Proses pembelajaran yang melibatkan siswa secara langsung dalam setiap tahapan proyek memberikan ruang bagi siswa untuk berinteraksi aktif dan berkontribusi dalam kelompok.

Peningkatan hasil rubrik penilaian kemampuan kolaborasi siswa yang sejalan dengan temuan observasi kelas menunjukkan bahwa pengalaman belajar melalui proyek nyata efektif dalam mengembangkan keterampilan sosial dan kerja tim siswa. Respon positif siswa terhadap modul juga menunjukkan bahwa pembelajaran menjadi lebih menarik dan bermakna karena dikaitkan langsung dengan permasalahan lingkungan sekitar serta pemanfaatan potensi lokal. Temuan penelitian ini sejalan dengan penelitian (Fitriani & Yuliana, 2022; Li & Zhang, 2025). yang menyatakan bahwa *Project Based Learning* efektif dalam meningkatkan keterampilan kolaborasi melalui kegiatan proyek yang kontekstual. Selain itu, pendapat (Bell,2010) memperkuat hasil penelitian ini bahwa PjBL merupakan pendekatan pembelajaran yang relevan untuk mengembangkan keterampilan abad ke-21, khususnya kolaborasi, melalui kerja kooperatif dalam menghasilkan produk nyata.

Pengembangan modul *Project Based Learning* (PjBL) pada materi bioteknologi pemanfaatan limbah pelepah sawit tidak hanya berfungsi sebagai bahan ajar, tetapi juga sebagai sarana pembelajaran kontekstual yang mampu meningkatkan kemampuan kolaborasi siswa melalui pengalaman belajar berbasis proyek yang nyata dan bermakna.

Pengaplikasian pupuk kompos dari limbah pelepah sawit dalam pembelajaran ini diawali dengan kegiatan identifikasi kondisi lingkungan berupa hamparan limbah pelepah sawit di

sekitar lingkungan sekolah dan masyarakat. Siswa secara berkelompok mengamati kondisi lingkungan serta membahas potensi pemanfaatan limbah tersebut sebagai bahan pembuatan pupuk kompos. Tahap ini mendorong siswa untuk berkolaborasi dalam mengidentifikasi masalah dan merumuskan solusi berbasis proyek. Tahap selanjutnya adalah pengumpulan dan pengolahan bahan, di mana siswa bekerja sama mengumpulkan pelepah sawit, melakukan pencacahan, serta mencampurkan bahan tambahan sesuai petunjuk dalam modul. Proses ini menuntut koordinasi dan pembagian tugas yang jelas antar anggota kelompok agar kegiatan berjalan efektif.



**Gambar 9. Proses pengumpulan limbah pelepah sawit**



**Gambar 10. Proses pencacahan limbah pelepah sawit**



**Gambar 11. Proses pencampuran bahan pupuk kompos dari limbah pelepah sawit**

Setelah bahan siap, siswa melaksanakan proses pembuatan pupuk kompos melalui tahap fermentasi. Selama proses ini, siswa secara kolaboratif melakukan pengadukan, mengamati perubahan suhu, bau, dan tekstur bahan kompos sesuai jadwal yang telah ditentukan. Kegiatan ini melatih kerja sama, tanggung jawab, dan komunikasi antar anggota kelompok dalam jangka waktu tertentu.



**Gambar 12.** Proses fermentasi pupuk kompos dari pelepah sawit

Pupuk kompos yang telah matang kemudian diaplikasikan pada tanaman di lingkungan sekolah. Siswa bersama-sama menentukan jenis tanaman, dosis pupuk, serta cara pengaplikasian yang tepat. Tahap pengaplikasian ini menjadi bagian penting dalam pembelajaran karena siswa dapat mengamati secara langsung manfaat pupuk kompos hasil proyek terhadap pertumbuhan tanaman. Melalui kegiatan rangkaian tersebut, siswa tidak hanya memahami konsep bioteknologi dan pengelolaan limbah, tetapi juga memperoleh pengalaman belajar yang bermakna melalui kerja kelompok. Pengaplikasian pupuk kompos dari limbah pelepah sawit ini memperkuat pembelajaran kontekstual berbasis *Project Based Learning* serta berkontribusi terhadap peningkatan kemampuan kolaborasi siswa.

### 3. Kesimpulan Dan Saran

#### Kesimpulan

Penelitian ini menyimpulkan bahwa pengembangan modul pembelajaran berbasis *Project Based Learning* (PjBL) pada materi bioteknologi pemanfaatan limbah pelepah sawit untuk pembuatan pupuk kompos layak digunakan dan efektif dalam meningkatkan kemampuan kolaborasi siswa SMP Negeri 19 Seluma. Modul yang dikembangkan melalui model **ADDIE** memperoleh kategori sangat layak berdasarkan hasil validasi ahli pada aspek kelayakan isi, kebahasaan, tampilan, dan penyajian materi, sehingga memenuhi kriteria sebagai bahan ajar IPA yang berkualitas dan kontekstual.

Penerapan modul PjBL dalam pembelajaran IPA terbukti mampu meningkatkan kemampuan kolaborasi siswa, yang tercermin dari peningkatan skor penilaian berdasarkan rubrik kemampuan kolaborasi serta didukung oleh hasil observasi selama proses pembelajaran. Kemampuan kolaborasi yang berkembang meliputi aspek partisipasi aktif dalam kelompok, kemampuan bekerja sama, komunikasi antarsiswa, pembagian peran dan tanggung jawab, serta pengambilan keputusan bersama dalam menyelesaikan proyek pembuatan pupuk kompos. Pembelajaran berbasis proyek memberikan ruang bagi siswa untuk berinteraksi secara langsung, saling menghargai pendapat, dan berkontribusi secara kolektif dalam mencapai tujuan kelompok.

Selain itu, respon siswa terhadap penggunaan modul PjBL berada pada kategori sangat baik, yang menunjukkan bahwa modul dinilai menarik, mudah dipahami, relevan dengan kehidupan nyata, serta mampu meningkatkan motivasi belajar siswa. Dengan demikian, modul *Project Based Learning* berbasis pemanfaatan limbah pelepah sawit tidak hanya berfungsi sebagai sumber belajar, tetapi juga sebagai sarana pembelajaran kontekstual yang efektif dalam menguatkan keterampilan kolaborasi siswa sebagai bagian dari keterampilan abad ke-21 pada pembelajaran IPA di tingkat SMP.

#### Saran

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, beberapa saran dapat diberikan sebagai tindak lanjut modul pengembangan dan penerapan pembelajaran selanjutnya. Modul pembelajaran berbasis *Project Based Learning* ini dapat dimanfaatkan oleh guru sebagai sumber belajar alternatif yang mampu meningkatkan keterlibatan peserta didik serta kemampuan kolaborasi, sekaligus dikembangkan lebih lanjut pada materi IPA lain yang relevan dengan potensi lingkungan sekitar sekolah. Pihak sekolah diharapkan dapat memberikan dukungan terhadap penggunaan bahan ajar inovatif berbasis proyek dengan menyediakan sarana dan prasarana pendukung agar modul implementasi dapat berjalan secara optimal dan berkelanjutan. Selain itu, peneliti selanjutnya disarankan untuk melakukan penelitian dalam cakupan yang lebih luas, baik pada jenjang pendidikan yang berbeda maupun melalui pengembangan proyek berbasis jenis limbah lainnya, guna membandingkan efektivitas serta dampak modul terhadap kemampuan kolaborasi dan kemampuan berpikir tingkat tinggi peserta didik. Ke depan, pengembangan modul juga dapat diarahkan ke bentuk e-modul interaktif agar lebih adaptif terhadap perkembangan teknologi serta kebutuhan pembelajaran abad ke-21.

#### Daftar Pustaka

- Arifin, Z., & Kurniawati, N. (2021). Pengembangan modul pembelajaran IPA berbasis proyek untuk meningkatkan keterampilan abad ke-21 siswa SMP. *Jurnal Pendidikan Sains Indonesia*, 9(3), 312–321.
- Bell, S. (2010). Pembelajaran berbasis proyek untuk abad ke-21: *Keterampilan untuk masa depan*. *The Clearing House*, 83(2), 39–43.
- Branch, RM (2009). *Desain instruksional: Pendekatan ADDIE*. New York, NY: Springer.
- Fitria, L., & Saputri, A. (2023). Pemanfaatan limbah pelepah sawit sebagai bahan kompos ramah lingkungan. *Jurnal Bioteknologi Tropis*, 12(2), 61–70.
- Fitria, L., & Saputri, A. (2023). Pemanfaatan limbah pelepah sawit sebagai bahan kompos ramah lingkungan. *Jurnal Bioteknologi Tropis*, 12(1), 45–53.
- Fitriani, R., & Yuliana, D. (2022). *Project Based Learning* dalam meningkatkan soft skill kolaborasi peserta didik. *Jurnal Inovasi Pembelajaran IPA*, 6(1), 45–54.
- Greenstein, L. (2012). *Menilai keterampilan abad ke-21: Panduan untuk mengevaluasi penguasaan dan pembelajaran autentik*. Thousand Oaks, CA: Corwin Press.
- Herlina, W., & Utami, P. (2024). Validitas modul berbasis potensi lokal untuk pembelajaran IPA SMP. *Jurnal Pendidikan Sains Nusantara*, 7(1), 22–31.
- Kementerian Pendidikan, Kebudayaan, Riset, dan Teknologi. (2020). *Pembelajaran abad ke-21 dan asesmen keterampilan kolaborasi*. Kemdikbudristek.
- Li, Q., & Zhang, M. (2025). Enhancing collaboration skills through project-based STEM learning: A classroom-based study. *International Journal of Science Education*, 47(1), 15–29.
- Rahmawati, S., & Handayani, L. (2022). Pengembangan modul digital berbasis *Project Based Learning* pada materi bioteknologi. *Jurnal Pendidikan dan Sains*, 10(4), 201–210.
- Sugiyono. (2019). *Metode penelitian pendidikan: pendekatan kuantitatif, kualitatif, dan R&D*. Bandung: Alfabeta.
- Thomas, JW (2000). *Tinjauan penelitian tentang pembelajaran berbasis proyek*. San Rafael, CA: Autodesk Foundation.
- Thomas, JW (2000). *Tinjauan penelitian tentang pembelajaran berbasis proyek*. San Rafael, CA: Autodesk Foundation.
- Trilling, B., & Fadel, C. (2009). *Keterampilan abad ke-21: Belajar untuk kehidupan di zaman kita*. San Francisco, CA: Jossey-Bass.
- Trilling, B., & Fadel, C. (2023). *21st century skills: Learning for life in our times*. Pearson Education.
- Wena, M. (2024). *Strategi pembelajaran inovatif kontemporer* (Edisi revisi). Bumi Aksara.