

**PENERAPAN LEMBAR KERJA BERBASIS PROYEK PADA PEMBUATAN
PUPUK ORGANIK CAIR DARI LIMBAH TAHU UNTUK
MENINGKATKAN LITERASI LINGKUNGAN**

A'isyah Nur Hasan Khuzaimah¹, Sari^{1*}, Ida Farida^{1,2}, Risa Rahmawati Sunarya^{1,2}

¹Program Studi Pendidikan Kimia, UIN Sunan Gunung Djati, Bandung, Indonesia

²Program Studi Magister Pendidikan IPA, UIN Sunan Gunung Djati, Bandung, Indonesia

*Email: sari@uinsgd.ac.id

Article History:

Received: June 5, 2026

Revised: July 13, 2026

Accepted: July 14, 2026

Published: July 31, 2026

DOI: <https://doi.org/10.22373/lj.v14i2.35383>

ABSTRACT

Low environmental literacy among students remains a challenge, driven by limited interest in environmental issues and low environmental awareness. This study aimed to implement project-based student worksheets in the production of POCIHU (liquid organic fertilizer from tofu wastewater) and analyze the improvement of students' environmental literacy to analyze the characteristics of the resulting POCIHU. A pre-experimental method with a one-group pretest-posttest design was employed, involving 30 students from the Young Scientific Research Group (KIR) at a high school in Bandung. The project-based student worksheets received an average score of 92, which is categorized as very good. Environmental literacy was assessed through four aspects: content, context, process, and attitude. The results showed a significant improvement in environmental literacy, with average N-Gain scores of 0.73 for content, 0.71 for context, and 0.70 for process, all of which were classified as high. The attitude aspect reached 85%, categorized as very good. In addition, the POCIHU product achieved an average score of 97, indicating very good quality. These results indicate that project-based student worksheets are effective in improving students' environmental literacy.

Keywords: *environmental literacy, liquid organic fertilizer, project-based student worksheets, tofu liquid waste*

PENDAHULUAN

Di Indonesia, jumlah pabrik dalam berbagai sektor industri terus meningkat dan tersebar di berbagai wilayah, terutama di Pulau Jawa. Indonesia memiliki sekitar 30.000 unit usaha industri manufaktur skala menengah dan besar yang masih aktif beroperasi, dengan sektor makanan dan minuman sebagai salah satu sektor yang dominan (Badan Pusat Statistik, 2024). Salah satu industri pangan yang banyak berkembang di masyarakat adalah industri pengolahan tahu. Proses produksi tahu menghasilkan limbah padat dan limbah cair dalam jumlah cukup besar (Pambudi dkk., 2024). Limbah cair tahu diketahui memiliki

kandungan bahan organik yang tinggi sehingga berpotensi menurunkan kualitas lingkungan apabila dibuang secara langsung tanpa pengolahan terlebih dahulu (Pagoray dkk., 2021).

Oleh karena itu, diperlukan upaya untuk mengolah limbah cair tahu agar tidak menimbulkan pencemaran lingkungan. Pengolahan tersebut juga bertujuan memanfaatkan kembali kandungan bahan organik yang masih terdapat di dalam limbah. Salah satu alternatif yang dapat dilakukan adalah mengolah limbah cair tahu menjadi pupuk organik cair (POC). Pupuk organik cair merupakan larutan yang dibuat dari proses penguraian bahan organik seperti sisa tanaman, serta limbah dari hewan dan manusia, dan mengandung lebih dari satu jenis unsur hara (Prasetyo & Evizal, 2021).

Pengolahan limbah cair tahu menjadi pupuk organik cair tidak hanya berpotensi mengurangi pencemaran lingkungan, tetapi juga sejalan dengan prinsip kimia hijau. Kimia hijau merupakan pendekatan dalam ilmu kimia yang bertujuan mengurangi dampak negatif proses kimia terhadap lingkungan dan kesehatan manusia (Salsafitri dkk., 2025). Dalam penelitian ini, prinsip kimia hijau diwujudkan melalui penerapan *waste prevention* (pencegahan limbah), yaitu mengurangi timbulnya limbah melalui pemanfaatan kembali limbah sebagai bahan baku yang memiliki nilai guna (Nahlik dkk., 2023). Prinsip kimia hijau menjadi bagian penting dalam pembelajaran yang sejalan dengan implementasi Kurikulum Merdeka.

Penerapan konsep kimia hijau dalam proyek tersebut memberikan pengalaman belajar yang menghubungkan konsep kimia dengan penyelesaian masalah lingkungan. Pengalaman tersebut menjadi salah satu dasar dalam pengembangan literasi lingkungan. Literasi lingkungan merupakan kompetensi yang tidak hanya mencakup pengetahuan dan keterampilan, tetapi juga kesadaran siswa terhadap berbagai permasalahan lingkungan di sekitarnya (Miterianifa & Mawarni, 2024). Literasi lingkungan ini mencakup memahami, menganalisis, dan menafsirkan isu lingkungan serta mendorong siswa untuk mengambil tindakan dalam menjaga dan memperbaiki kualitas lingkungan (Putra dkk., 2024). Namun, tingkat literasi lingkungan siswa masih tergolong rendah akibat rendahnya minat dalam mempelajari permasalahan lingkungan serta kurangnya kepedulian terhadap lingkungan sekitar (Sari dkk., 2023).

Kondisi tersebut menunjukkan perlunya pembelajaran yang tidak hanya berfokus pada konsep, tetapi juga melibatkan siswa secara aktif dalam menghadapi permasalahan lingkungan. Salah satu pendekatan yang dapat diterapkan adalah *Project Based Learning* (PjBL) melalui kegiatan berbasis proyek. Penerapan PjBL diketahui mampu meningkatkan

kreativitas, kemampuan berpikir kritis, dan keterlibatan siswa dalam pembelajaran (Sari dkk., 2020). Penelitian Maulida dkk. (2023) menunjukkan bahwa pembelajaran yang mengangkat isu lingkungan nyata melalui *flipped classroom* berbasis masalah mampu meningkatkan literasi lingkungan. Hasil tersebut mengindikasikan bahwa pembelajaran yang berorientasi pada penyelesaian masalah lingkungan dapat mendukung pengembangan literasi lingkungan. Sejalan dengan penelitian tersebut, penelitian ini juga memanfaatkan isu lingkungan sebagai konteks pembelajaran melalui lembar kerja berbasis proyek yang mengarahkan siswa mengolah limbah cair tahu menjadi pupuk organik cair.

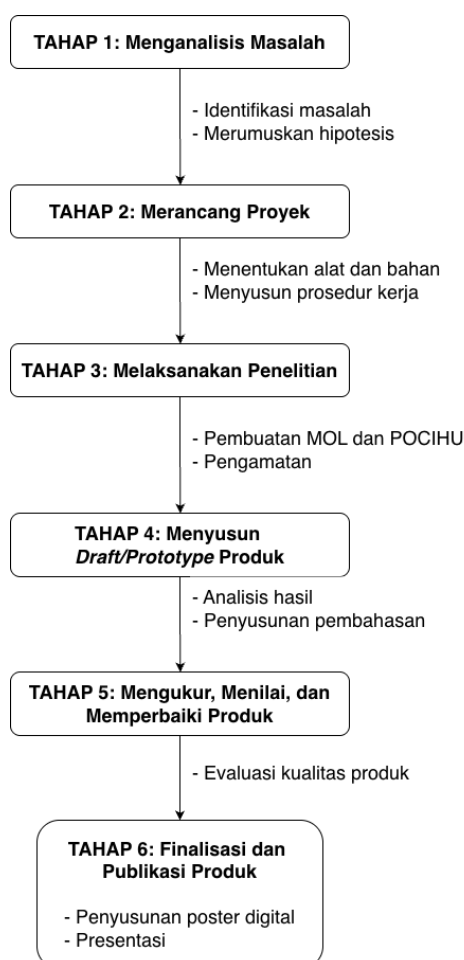
Salah satu model pembelajaran yang dapat melibatkan siswa secara aktif dalam penyelesaian permasalahan lingkungan adalah *Project Based Learning* (PjBL) (Nandifa & Ahsani, 2025). Melalui PjBL, siswa menyelesaikan suatu proyek yang berkaitan dengan permasalahan nyata sehingga pemahaman konsep, kemampuan berpikir dan keterampilan pemecahan masalah dapat berkembang lebih optimal (Chen dkk., 2022). Agar setiap tahapan proyek dapat terlaksana secara terarah, PjBL perlu didukung oleh lembar kerja berbasis proyek. Lembar kerja berbasis proyek berfungsi sebagai panduan yang membantu siswa merencanakan, melaksanakan, mengevaluasi dan mengomunikasikan hasil proyek secara sistematis (Ainun & Rasmawan, 2021). Dengan demikian, siswa dapat mengikuti setiap tahapan proyek secara terstruktur sekaligus terlibat aktif dalam proses penyelidikan untuk menyelesaikan permasalahan yang berkaitan dengan kehidupan sehari-hari (Fisdausyi & Riswanto, 2023).

Penelitian mengenai pemanfaatan limbah cair tahu sebagai pupuk organik cair umumnya masih berfokus pada aspek teknis pengolahan. Hingga saat ini, penerapan pembuatan POCIHU sebagai konteks dalam lembar kerja berbasis proyek masih terbatas. Kebaruan penelitian ini terletak pada integrasi pembuatan POCIHU ke dalam lembar kerja berbasis proyek yang mengaitkan prinsip kimia hijau dengan pengelolaan limbah, sekaligus menganalisis karakteristik POCIHU dan peningkatan literasi lingkungan siswa. Berdasarkan hal tersebut, penelitian ini bertujuan untuk meningkatkan literasi lingkungan siswa melalui penerapan lembar kerja berbasis proyek pada pembuatan POCIHU.

METODE PENELITIAN

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah *pre-experimental* dengan desain *one group pretest-posttest* (Sugiyono, 2021). Subjek penelitian terdiri atas 30 siswa yang mengikuti Kelompok Ilmiah Remaja (KIR) di salah satu SMA di kota Bandung. Perlakuan yang diberikan berupa penerapan lembar kerja berbasis proyek pada pembuatan POCIHU.

Instrumen penelitian berupa lembar kerja berbasis proyek (LKPD), lembar observasi aktivitas siswa, tes literasi lingkungan, dan angket sikap siswa. LKPD disusun berdasarkan enam tahapan pembelajaran proyek, yaitu menganalisis masalah, mendesain proyek, melaksanakan penelitian, menyusun *draft/prototype* produk, mengukur dan mengevaluasi produk, serta finalisasi dan publikasi produk (Herdianty dkk., 2021). Setiap tahapan memuat aktivitas yang mengarahkan siswa mulai dari mengidentifikasi permasalahan hingga mempresentasikan hasil proyek pembuatan POCIHU. Alur tahapan LKPD disajikan pada Gambar 1.



Gambar 1. Tahapan Lembar Kerja Berbasis Proyek pada Pembuatan POCIHU

Pengukuran literasi lingkungan dilakukan untuk mengetahui kemampuan siswa setelah mengikuti pembelajaran berbasis proyek. Literasi lingkungan dalam penelitian ini meliputi aspek konten, konteks, dan proses dan sikap. Aspek konten, konteks, dan proses diukur menggunakan tes tertulis berbentuk pilihan ganda yang terdiri atas 15 butir soal, sedangkan aspek sikap diukur menggunakan angket. Indikator soal pada aspek konten, konteks, dan proses disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Indikator dan Contoh Butir Soal Literasi Lingkungan pada Aspek Konten, Konteks, dan Proses

Indikator Literasi Lingkungan	Indikator soal	Contoh Butir Soal	Nomor soal
Konten	Menganalisis efektivitas pupuk organik dan pupuk kimia sintetis dalam menjaga kesuburan tanah	Hasil penelitian menunjukkan bahwa penggunaan pupuk organik dapat meningkatkan aktivitas mikroorganisme tanah dan mengurangi pencemaran lingkungan, sedangkan penggunaan pupuk kimia sintetis secara terus-menerus berpotensi menurunkan kualitas tanah. Berdasarkan informasi tersebut, penggunaan pupuk organik lebih mendukung praktik pertanian berkelanjutan karena....	1, 2, 3, dan 4
Konteks	Menilai efektivitas penerapan prinsip 3R berdasarkan proses anaerob dan aerob	Perhatikan data hasil pengamatan pengolahan sampah organik berikut. Sekelompok siswa ingin membuat pupuk organik cair untuk tanaman hidroponik yang dapat digunakan dalam waktu kurang dari 15 hari. Berdasarkan data tersebut, proses pengolahan yang paling sesuai adalah....	5, 6, dan 7
Proses	Menganalisis dampak penggunaan pupuk kimia sintetis dan jenis limbah terhadap kualitas tanah dan perairan	Kawasan hulu Sungai Citarum didominasi oleh lahan pertanian yang menggunakan pupuk kimia sintetis secara intensif. Pada musim hujan, sisa pupuk terbawa aliran air hingga menyebabkan pertumbuhan alga yang berlebihan di waduk. Berdasarkan fenomena tersebut, hubungan antara penggunaan pupuk kimia sintetis dan kematian ikan di waduk adalah....	8, 9, 10, dan 11
	Menganalisis solusi pengolahan limbah rumah	Pembuatan pupuk organik cair (POC) dilakukan melalui proses fermentasi limbah organik menggunakan bioaktivator. Selama	12, 13, 14, dan 15

tangga yang ramah lingkungan	fermentasi, mikroorganisme menguraikan bahan organik menjadi senyawa yang lebih sederhana. Berdasarkan proses tersebut, secara kimiawi POC mampu....
---------------------------------	---

Sementara itu, aspek sikap diukur menggunakan angket yang terdiri atas 10 butir pernyataan dengan lima pilihan respons. Setiap pilihan diberikan skor 1-5 sesuai tingkat persetujuan siswa sehingga tidak terdapat jawaban benar maupun salah. Aspek ini diukur berdasarkan indikator tanggung jawab siswa dalam pengelolaan limbah organik yang ramah lingkungan. Data yang diperoleh dari penilaian lembar kerja peserta didik (LKPD), angket sikap, dan penilaian produk berupa skor yang mengacu pada rubrik penilaian. Skor tersebut kemudian dikonversi menjadi nilai dan dianalisis untuk mengetahui capaian hasil pada setiap instrumen. Nilai yang diperoleh dapat diinterpretasikan sesuai dengan kriteria yang disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Kriteria Interpretasi Nilai Rata-rata

Rentang Nilai (%)	Interpretasi
80-100	Sangat baik
70-79	Baik
60-69	Cukup
50-59	Kurang
0-49	Sangat kurang

Sementara itu, data tes literasi lingkungan yang diperoleh dari hasil *pretest* dan *posttest* digunakan untuk mengetahui peningkatan kemampuan literasi lingkungan siswa setelah penerapan lembar kerja berbasis proyek. Perhitungan nilai dilakukan menggunakan persamaan di bawah ini.

$$\text{Nilai} = \frac{\text{Skor hasil pretest/posttest}}{\text{Skor maksimum}} \times 100\%$$

Data hasil penelitian dianalisis untuk mengetahui pengaruh penerapan lembar kerja berbasis proyek terhadap literasi lingkungan siswa. Data *pretest* dan *posttest* terlebih dahulu diuji normalitas menggunakan *software* SPSS. Data dinyatakan berdistribusi normal apabila nilai signifikansi $> 0,05$, sedangkan nilai signifikansi $< 0,05$ menunjukkan data tidak berdistribusi normal (Hajaroh & Raehanah, 2021). Peningkatan literasi lingkungan siswa selanjutnya dianalisis menggunakan uji *paired sample t-test* (Rosalina dkk., 2023). Selain itu, peningkatan literasi lingkungan siswa dianalisis menggunakan *N-Gain* dengan rumus

sebagai berikut. Lalu hasil perhitungan *N-Gain* dapat diinterpretasikan berdasarkan panduan pada Tabel 3.

$$N\ Gain = \frac{skor\ posttest - skor\ pretest}{skor\ maksimum - skor\ pretest} \times 100\%$$

Tabel 3. Interpretasi *N-Gain*

Nilai	Kategori
$g > 0,70$	Tinggi
$0,30 \leq g \leq 0,70$	Sedang
$g < 0,30$	Rendah

Sebelum digunakan dalam pembelajaran berbasis proyek pada pembuatan POCIHU, instrumen penelitian terlebih dahulu melalui proses validasi oleh tiga validator yang terdiri atas ahli materi, ahli media, dan ahli pendidikan. Validasi instrumen untuk memastikan bahwa instrumen penelitian memiliki ketepatan dalam mengukur variabel yang diteliti (Saputri, 2023). Hasil validasi menunjukkan bahwa instrumen layak digunakan setelah dilakukan beberapa perbaikan pada penulisan dan redaksi soal. Selanjutnya, instrumen tersebut diuji coba untuk mengetahui validitas, daya pembeda, tingkat kesukaran, dan reliabilitasnya.

Hasil uji coba menunjukkan bahwa seluruh butir soal memiliki tingkat validitas yang signifikan. Daya pembeda soal berada pada kategori cukup hingga baik sekali, dengan nilai berkisar antara 0,33–1,00. Berdasarkan tingkat kesukarannya, sebagian besar soal termasuk kategori mudah, sedangkan beberapa soal berada pada kategori sedang dan sukar. Selain itu, hasil uji reliabilitas menunjukkan bahwa instrumen memiliki tingkat reliabilitas sebesar 0,87 yang termasuk kategori tinggi. Dengan demikian, instrumen yang digunakan telah memenuhi kriteria kelayakan dan dapat digunakan untuk mengukur literasi lingkungan siswa dalam penelitian ini.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil pembahasan menyajikan hasil penelitian penerapan lembar kerja berbasis proyek pada pembuatan POCIHU untuk meningkatkan literasi lingkungan siswa. Implementasi pembelajaran berbasis proyek dilaksanakan dalam dua kali pertemuan pada siswa Kelompok Ilmiah Remaja (KIR) di salah satu SMA di kota Bandung.

Penerapan Lembar Kerja berbasis Proyek pada pembuatan POCIHU

Lembar kerja berbasis proyek digunakan sebagai panduan bagi siswa dalam menyelesaikan tugas proyek secara sistematis (Dheffawwaz & Jalal, 2025). Setiap tahapan dalam lembar kerja berbasis proyek tidak hanya membantu proses pembelajaran menjadi lebih terarah, tetapi juga menciptakan suasana belajar yang lebih aktif dan berpusat pada siswa. Selain itu, lembar kerja berbasis proyek mampu mendorong siswa untuk lebih aktif dan terlibat dalam kegiatan pembelajaran (Mirnawati dkk., 2021).

Tabel 4. Nilai Rata-rata Penyelesaian LKPD Berbasis Proyek

Aktivitas Siswa	Rata-rata Nilai	Interpretasi
Menganalisis masalah	93	Sangat baik
Mendesain proyek	91	Sangat baik
Melaksanakan penelitian	97	Sangat baik
Menyusun <i>draft/prototype</i> produk	90	Sangat baik
Mengukur, menilai & memperbaiki produk	92	Sangat baik
Finalisasi dan publikasi produk	90	Sangat baik
Rata-rata keseluruhan	92	Sangat baik

Berdasarkan data pada Tabel 4 yang menunjukkan bahwa rata-rata kemampuan siswa dalam menyelesaikan seluruh aktivitas pada LKPD mencapai nilai 92 dengan kategori sangat baik. Hasil tersebut menunjukkan bahwa kemampuan siswa dalam menyelesaikan LKPD berbasis proyek tergolong tinggi. Pada tahap pertama, yaitu menganalisis masalah, siswa dibagi ke dalam enam kelompok dan diarahkan membaca wacana mengenai pemanfaatan limbah rumah tangga dan industri pangan sebagai alternatif ramah lingkungan pengganti pupuk kimia. Tahap ini bertujuan mengembangkan kemampuan siswa dalam mengidentifikasi ide pokok, merumuskan masalah, menyusun hipotesis, serta menentukan prinsip percobaan. Rata-rata nilai yang diperoleh pada tahap ini sebesar 93 dengan kategori sangat baik. Temuan ini juga didukung oleh penelitian (Sari dkk., 2023) yang menegaskan pentingnya penguatan tahap awal dalam pembelajaran berbasis proyek.

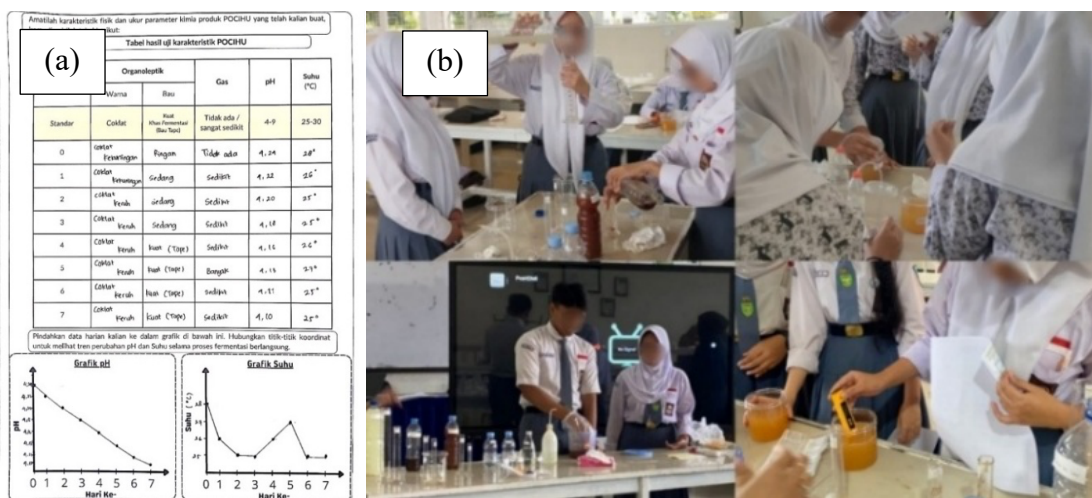
Sebagian besar siswa mampu merumuskan masalah sesuai dengan wacana yang diberikan, terutama terkait pemanfaatan limbah cair tahu sebagai bahan baku pupuk organik cair. Rumusan yang dibuat umumnya telah sesuai dengan tujuan percobaan dan konsep yang dipelajari. Namun, beberapa kelompok masih mengalami kesulitan dalam menyusun hipotesis, menentukan ide pokok, dan menjelaskan prinsip percobaan secara tepat. Hal ini terlihat dari pernyataan yang kurang fokus serta keterkaitan yang belum jelas antara permasalahan dan kegiatan percobaan. Hasil ini menunjukkan bahwa kemampuan memahami bacaan dan berpikir kritis masih perlu ditingkatkan.

Tahap mendesain proyek, siswa diminta mengamati gambar tahapan MOL dan POCIHU yang terdapat lembar kerja, kemudian menyusun alat dan bahan yang diperlukan. Siswa menunjukkan antusiasme yang tinggi, terlihat dari banyaknya pertanyaan mengenai fungsi dan penggunaan alat serta bahan. Seluruh kelompok mampu menyusun alat dan bahan sesuai prosedur, yang ditunjukkan oleh jawaban pada LKPD yang telah sesuai dengan kriteria penilaian. Hal tersebut menunjukkan adanya rasa ingin tahu dan pemahaman awal terhadap proses pembuatan produk. Berdasarkan hasil penilaian, tahap ini memperoleh rata-rata 91 dengan kategori sangat baik, yang menunjukkan bahwa sebagian besar siswa mampu memilih alat dan bahan sesuai prosedur pembuatan MOL dan POCIHU. Hal ini juga menunjukkan bahwa pembelajaran berbasis proyek yang didukung LKPD mempermudah guru dalam mengarahkan proses pembelajaran, karena langkah kegiatan telah tersusun secara sistematis sehingga siswa lebih aktif dalam melaksanakan proyek. Sejalan dengan itu, Irwan & Kamarudin (2021) menyatakan bahwa LKPD dalam pembelajaran berbasis proyek dapat membantu guru memandu proses sekaligus meningkatkan keterlibatan siswa melalui alur kerja yang jelas.

Tahap pelaksanaan penelitian, siswa melakukan percobaan sesuai tujuan dan prosedur yang telah disusun sebelumnya. Pengamatan karakteristik MOL dan POCIHU dilakukan setiap hari mulai hari ke-0 sampai hari ke-7. Parameter yang diamati meliputi warna, bau, pH, suhu, dan pembentukan gas selama proses fermentasi. Selama kegiatan berlangsung, siswa terlihat aktif melakukan pengamatan dan diskusi mengenai perubahan yang terjadi pada produk fermentasi. Pengamatan yang dilakukan selama proses fermentasi mendukung pemahaman siswa terhadap konsep fermentasi serta mengembangkan keterampilan pengumpulan dan pengolahan data. Setiap hasil pengamatan dicatat secara sistematis pada lembar kerja yang telah disediakan. Selanjutnya, siswa menganalisis data hasil pengamatan dan menyajikannya dalam bentuk tabel serta grafik pada lembar kerja. Contoh hasil pekerjaan siswa pada lembar kerja disajikan pada Gambar 2 (a). Berdasarkan hasil penilaian, tahap pelaksanaan penelitian memperoleh nilai rata-rata sebesar 97 dengan kategori sangat baik. Tingginya capaian pada tahap ini menunjukkan bahwa siswa mampu melaksanakan prosedur percobaan, melakukan pengamatan, serta mencatat dan menyajikan data dengan baik. Sebagian besar data yang disusun telah sesuai dengan hasil pengamatan, meskipun beberapa kelompok masih mengalami kesulitan dalam menginterpretasikan perubahan yang terjadi selama fermentasi. Hal ini didukung oleh hasil penelitian Lubis & Kinanti (2025) yang menyatakan bahwa pembelajaran berbasis proyek mendorong siswa

Lantanida Journal, 14(2): 225-247

berperan aktif dalam membangun pengetahuan melalui pelaksanaan proyek. Aktivitas siswa selama tahap pelaksanaan penelitian disajikan pada Gambar 2 (b).



Gambar 2. (a) Contoh Hasil Analisis dan Penyajian Data pada Lembar Kerja; (b) Aktivitas Siswa saat Pelaksanaan Penelitian

Tahap penyusunan *draft/prototype* produk, siswa menganalisis hasil percobaan berdasarkan variasi penambahan MOL terhadap kualitas POCIHU, menjelaskan proses fermentasi, serta mengaitkan pemanfaatan limbah organik dengan prinsip 3R (*reduce, reuse, dan recycle*). Berdasarkan hasil penilaian, tahap penyusunan *draft/prototype* produk memperoleh nilai rata-rata sebesar 90 dengan kategori sangat baik. Secara umum, jawaban yang disusun telah sesuai dengan kriteria penilaian, menunjukkan bahwa siswa mampu menganalisis dan menginterpretasikan hasil percobaan dengan baik. Hasil tersebut didukung oleh penelitian Fatmala dkk. (2023) yang menunjukkan bahwa pembelajaran berbasis proyek efektif dalam mengembangkan kemampuan analisis siswa selama pelaksanaan proyek.

Tahap mengukur, menilai, dan memperbaiki produk, siswa diarahkan untuk membandingkan dan menganalisis hasil POCIHU setiap kelompok berdasarkan standar mutu POC pada tabel. Selanjutnya, siswa menjelaskan faktor yang memengaruhi kualitas produk serta hubungan sifat awal limbah cair tahu dan tingkat keasaman POCIHU. Siswa kemudian menyelesaikan pertanyaan pada LKPD, menyusun pembahasan berdasarkan hasil percobaan, dan mempersiapkan presentasi hasil proyek. Berdasarkan hasil penilaian, tahap ini memperoleh nilai rata-rata sebesar 92 dengan kategori sangat baik. Hasil ini diperkuat oleh hasil penelitian Afriani & Zuhri (2025) yang menunjukkan bahwa evaluasi produk dalam pembelajaran berbasis proyek meningkatkan kemampuan siswa dalam menganalisis hasil percobaan berdasarkan konsep yang dipelajari.

Tahap finalisasi dan publikasi produk, setiap kelompok mempresentasikan poster hasil percobaan secara bergantian. Siswa terlihat aktif menyampaikan hasil dan memberikan tanggapan selama kegiatan berlangsung. Berdasarkan hasil penilaian, kemampuan siswa pada tahap ini memperoleh nilai rata-rata sebesar 90 dengan kategori sangat baik. Hasil tersebut menunjukkan bahwa siswa mampu menyajikan hasil percobaan dalam bentuk digital poster secara baik dan komunikatif. Kegiatan siswa pada tahap finalisasi dan publikasi produk ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Finalisasi dan Publikasi Produk

Gambar 3 menunjukkan tahap finalisasi dan publikasi produk pada proyek POCIHU, di mana siswa menyelesaikan pembuatan pupuk organik cair (POC) sekaligus mempresentasikan hasilnya dalam bentuk poster digital. Pada tahap ini, setiap kelompok menghasilkan produk sesuai kriteria yang telah ditentukan, sehingga hasil yang diperoleh relatif seragam antar kelompok baik dari proses maupun karakteristik produknya. Selain itu, siswa juga mempublikasikan hasil karya sebagai bentuk pertanggungjawaban proyek, yang tidak hanya menekankan proses produksi, tetapi juga melatih kemampuan komunikasi ilmiah secara singkat dan jelas. Sejalan dengan penelitian (Sari dkk., 2020) yang menyatakan bahwa pembelajaran berbasis proyek mampu meningkatkan keaktifan, kreativitas, serta rasa percaya diri siswa dalam menyampaikan hasil pekerjaannya.

Analisis Peningkatan Kemampuan Literasi Lingkungan Siswa setelah Penerapan Lembar Kerja Berbasis Proyek pada Pembuatan POCIHU

Hasil penerapan aktivitas siswa pada setiap tahap pembelajaran berbasis proyek menunjukkan keterkaitan dengan peningkatan literasi lingkungan siswa. Lembar kerja

berbasis proyek pada materi pembuatan POCIHU digunakan untuk meningkatkan keterampilan literasi lingkungan siswa. Literasi lingkungan dalam penelitian ini ditinjau melalui beberapa aspek utama, yaitu aspek konten, konteks, proses, dan sikap (Putra dkk., 2024). Aspek konten mengukur pemahaman konsep lingkungan, aspek konteks mengukur kemampuan mengaitkan konsep dengan permasalahan lingkungan, aspek proses mengukur kemampuan mengidentifikasi masalah dan merancang solusi, sedangkan aspek sikap mengukur kepedulian serta tanggung jawab terhadap lingkungan. Sebelum pengujian hipotesis dilakukan, data *pretest* dan *posttest* terlebih dahulu diuji normalitasnya untuk memastikan kesesuaian data dengan asumsi analisis parametrik. Hasil uji normalitas disajikan pada Tabel 5.

Tabel 5. Hasil Pengolahan Data Uji Normalitas

<i>Tests of Normality</i>			
<i>Shapiro-Wilk</i>			
	<i>Statistic</i>	<i>df</i>	<i>Sig.</i>
<i>Pretest</i>	.974	30	.651
<i>Posttest</i>	.932	30	.055

Berdasarkan Tabel 5, nilai signifikansi *pretest* dan *posttest* masing-masing sebesar 0,651 dan 0,055. Nilai tersebut menunjukkan bahwa data berdistribusi normal karena melebihi 0,05 (Hajaroh & Raehanah, 2021). Selanjutnya dilakukan uji *paired sample t-test* untuk mengetahui perbedaan nilai *pretest* dan *posttest*. Hasil uji tersebut disajikan pada Tabel 6.

Tabel 6. Hasil Pengolahan Data Uji-t

<i>Paired Samples Test</i>								
<i>Paired Differences</i>								
	<i>Mean</i>	<i>Std. Deviation</i>	<i>Std. Error Mean</i>	<i>95% Confidence Interval of the Difference</i>		<i>t</i>	<i>df</i>	<i>Sig. (2-tailed)</i>
				<i>Lower</i>	<i>Upper</i>			
<i>Pretest - Posttest</i>	-30.867	12.610	2.302	-35.575	-26.158	-13.407	29	.000

Berdasarkan Tabel 6, nilai signifikansi (*2-tailed*) yang diperoleh sebesar 0,000. Nilai $0,000 < 0,05$ sehingga H_0 ditolak dan H_1 diterima (Wulandari & Pratiwi, 2021). Hasil ini menunjukkan adanya peningkatan literasi lingkungan siswa setelah penerapan lembar kerja

berbasis proyek pemanfaatan limbah cair tahu sebagai pupuk organik cair (POCIHU). Dengan demikian, terdapat perbedaan yang signifikan antara kemampuan literasi lingkungan siswa sebelum dan sesudah pembelajaran.

Setelah diketahui adanya perbedaan yang signifikan antara nilai *pretest* dan *posttest*, analisis dilanjutkan dengan menghitung nilai *N-Gain* untuk mengetahui besarnya peningkatan literasi lingkungan siswa. Perhitungan *N-Gain* didasarkan pada hasil nilai *pretest* dan *posttest* menggunakan bantuan *Microsoft Excel*. Selanjutnya, nilai *N-Gain* dianalisis berdasarkan indikator literasi lingkungan pada setiap soal. Rata-rata nilai *N-Gain* untuk indikator konten, konteks dan proses disajikan pada Tabel 7.

Tabel 7. Rata-Rata Nilai *N-Gain* pada Setiap Indikator

Indikator Literasi Lingkungan	<i>N-Gain</i> Kelompok Prestasi Siswa			Rata-rata	Interpretasi
	Tinggi	Sedang	Rendah		
Konten	0,77	0,81	0,63	0,73	Tinggi
Konteks	0,83	0,74	0,58	0,71	Tinggi
Proses	0,73	0,75	0,64	0,70	Sedang
Rata-rata keseluruhan				0,71	Tinggi

Berdasarkan Tabel 7, nilai rata-rata *N-Gain* untuk indikator konten, konteks, dan proses adalah 0,71, yang tergolong kategori tinggi. Hasil tersebut menunjukkan bahwa penggunaan lembar kerja berbasis proyek melalui pembuatan POCIHU memberikan pengaruh positif terhadap peningkatan literasi lingkungan siswa. Peningkatan ini didukung oleh keterlibatan siswa secara langsung dalam kegiatan proyek yang menghubungkan konsep pembelajaran dengan penerapannya dalam kehidupan sehari-hari. Hal ini didukung dengan oleh penelitian Yasinta dkk. (2023) yang menunjukkan penerapan lembar kerja berbasis proyek dapat meningkatkan keterlibatan siswa sekaligus mendukung perkembangan kemampuan berpikir.

Hasil peningkatan tersebut didukung oleh contoh butir soal yang digunakan untuk mengukur literasi lingkungan pada aspek konten, konteks dan proses. Gambar 4 memperlihatkan contoh butir soal yang digunakan untuk mengukur aspek konten, konteks, dan proses dalam literasi lingkungan. Ketiga contoh soal tersebut dirancang untuk menilai kemampuan siswa dalam memahami konsep, menghubungkan konsep dengan permasalahan lingkungan, serta menganalisis informasi untuk menentukan solusi yang tepat. Hasil pengerjaan siswa menunjukkan bahwa sebagian besar siswa mampu menjawab soal sesuai dengan indikator yang diukur, sehingga mendukung hasil analisis *N-Gain* yang menunjukkan adanya peningkatan literasi lingkungan setelah pembelajaran.

Khuzaimah dkk.: Penerapan Lembar Kerja Berbasis Proyek

1. Perhatikan Data Hasil Pengamatan Pengolahan Sampah Organik di bawah ini!

Parameter	Proses A (Aerob)	Proses B (Anaerob)
Reaksi Kimia	Membutuhkan Oksigen (O ₂)	Tanpa Oksigen (O ₂)
Suhu Proses	Panas (50 – 70 °C)	Suhu ruang (25 – 30 °C)
Waktu Proses	3 – 4 Minggu	1 – 2 Minggu
Hasil Utama	Kompos Padat (Humus)	Pupuk Organik Cair (POC)
Aroma Hasil	Seperti Tanah Basah	Asam Manis (Seperti Tape)

Sekelompok siswa ingin membuat pupuk tambahan untuk tanaman hidroponik di sekolah yang membutuhkan pupuk dalam bentuk cair agar mudah dilarutkan, serta harus selesai dalam waktu kurang dari 15 hari. Berdasarkan data perbandingan proses kimia, penilaian yang paling tepat adalah...

☒ A. Memilih Proses Anaerob karena lebih efektif menghasilkan pupuk cair dalam waktu singkat (1-2 minggu)

☐ B. Memilih Proses Aerob karena menghasilkan kompos padat yang sangat stabil bagi akar

☐ C. Memilih Proses Anaerob karena aroma tape yang dihasilkan menandakan pupuk mengandung banyak racun

☐ D. Memilih Proses Aerob karena suhu panasnya dapat membunuh hama tanaman hidroponik

☐ E. Memilih Proses Aerob karena membutuhkan oksigen lebih banyak sehingga hasilnya selalu lebih baik

2. Bacalah fenomena di bawah ini dengan cermat, kemudian tentukan hubungan sebab-akibat untuk melengkapi pernyataan di akhir teks!

Kawasan hulu Sungai Citarum di daerah Pangalengan dan Kertasari didominasi oleh lahan miring. Untuk mengejar target panen, banyak petani menggunakan pupuk kimia sintetis (NPK) secara intensif. Saat curah hujan tinggi, sisa pupuk yang tidak terserap tanaman hanyut terbawa air menuju aliran Citarum hingga masuk ke waduk-waduk di hilirnya. Dampaknya, sering terlihat permukaan air waduk tertutup hamparan tanaman air dan alga yang sangat rapat, yang memicu kematian ikan secara massal di keramba jaring apung.

Berdasarkan fenomena tersebut, keterkaitan logis antara aktivitas pertanian di hulu dengan peristiwa kematian ikan di waduk hilir Citarum adalah

☒ A. Aliran air hujan membawa sisa nutrisi (nitrogen dan fosfor) ke perairan yang memicu ledakan alga; populasi alga yang mati kemudian dibusukkan oleh bakteri yang mengonsumsi seluruh oksigen terlarut

☐ B. Kandungan logam berat dari pupuk kimia langsung merusak sistem saraf ikan di waduk

☐ C. Penggunaan pupuk berlebihan meningkatkan suhu air sungai secara drastis sehingga ikan di hilir mengalami stres termal

☐ D. Pupuk kimia menyebabkan air waduk menjadi terlalu jernih sehingga ikan tidak memiliki tempat bersembunyi dari predator

☐ E. Sisa pupuk kimia mengubah warna air menjadi gelap sehingga ikan kehilangan kemampuan melihat makanan

3. Sebuah penelitian menunjukkan bahwa penggunaan pupuk organik mampu meningkatkan aktivitas mikroorganisme tanah dan mengurangi erosi tanpa mencemari air tanah. Sebaliknya, pupuk kimia sintetis dapat meningkatkan hasil panen secara cepat, namun dalam jangka panjang berisiko menyebabkan eutrofikasi serta penurunan kesuburan tanah. Berdasarkan data tersebut, penggunaan pupuk organik dianggap lebih mendukung praktik produksi yang berkelanjutan karena...

☒ A. Pupuk organik meningkatkan hasil panen lebih cepat

☐ B. Pupuk organik menjaga kesehatan tanah dan lingkungan jangka Panjang

☐ C. Pupuk kimia sintetis lebih mudah diaplikasikan

☐ D. Pupuk kimia sintetis tidak mempengaruhi mikroorganisme tanah

☐ E. Pupuk organik menyebabkan pertumbuhan tanaman berlangsung instan

Gambar 4. Contoh Butir Soal yang Mewakili Tiap Aspek: (a) Konteks; (b) Proses; dan (c) Konten

Nilai rata-rata *N-Gain* tertinggi diperoleh pada indikator konteks pada kelompok prestasi tinggi, yaitu efektivitas prinsip 3R melalui perbandingan proses anaerob dan aerob, dengan nilai 0,83. Hasil tersebut menunjukkan pembelajaran berbasis proyek membantu siswa memahami pengelolaan limbah melalui penerapan konsep dalam kehidupan sehari-hari. Temuan ini sejalan dengan pendapat Zuriatni dkk. (2024) yang menyatakan bahwa kegiatan pengolahan limbah organik dapat meningkatkan keterlibatan siswa dalam pengelolaan lingkungan. Selain itu, keterlibatan langsung dalam kegiatan proyek dapat meningkatkan kemampuan siswa dalam memahami permasalahan lingkungan secara kontekstual (Maulida dkk., 2023)

Sementara itu, nilai rata-rata *N-Gain* terendah diperoleh pada indikator konteks pada kelompok prestasi sedang dengan nilai sebesar 0,58 yang tergolong kategori sedang. Hasil tersebut menunjukkan bahwa sebagian siswa masih mengalami kesulitan dalam membedakan proses anaerob dan aerob pada pengelolaan limbah. Meskipun demikian, pembelajaran berbasis proyek tetap membantu siswa memahami konsep pengelolaan limbah melalui kegiatan yang berkaitan dengan lingkungan sekitar. Nilai rata-rata *N-Gain* pada indikator konten, konteks dan proses menunjukkan bahwa hasil tes tertinggi tidak selalu diperoleh oleh kelompok berprestasi tinggi. Sebaliknya, kelompok berprestasi rendah tidak selalu memperoleh hasil tes terendah.

Meskipun menunjukkan peningkatan literasi lingkungan yang tinggi, hasil penelitian ini perlu diinterpretasikan dengan mempertimbangkan karakteristik sampel yang digunakan. Siswa yang terlibat merupakan anggota KIR sehingga memiliki ketertarikan yang lebih besar terhadap kegiatan ilmiah dan pembelajaran berbasis proyek. Karakteristik tersebut dapat mendukung keterlibatan siswa selama proses pembelajaran dan turut memengaruhi hasil yang diperoleh. Oleh karena itu, temuan penelitian ini lebih menggambarkan efektivitas pembelajaran pada siswa dengan karakteristik serupa dan belum dapat digeneralisasikan pada populasi yang lebih luas.

Aspek sikap diukur menggunakan angket untuk mengetahui tanggung jawab siswa dalam pengelolaan limbah organik. Persentase capaian yang diperoleh sebesar 85%, menunjukkan bahwa sebagian besar siswa telah memiliki sikap yang baik terhadap upaya pelestarian lingkungan. Hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa pembelajaran berbasis proyek berpotensi mendorong tumbuhnya tanggung jawab dan kepedulian siswa terhadap lingkungan. pekerjaannya.

Analisis Karakteristik POCIHU

Untuk mengetahui karakteristik pupuk organik cair yang dihasilkan dari limbah cair tahu maka dilakukan uji pendahuluan pembuatan POCIHU sebelum digunakan dalam kegiatan pembelajaran. Tahap awal dilakukan dengan pembuatan MOL nasi basi yang difermentasi selama 7-14 hari. Hasil fermentasi menghasilkan aroma khas menyerupai tape dengan pH 3,5. MOL nasi basi berperan sebagai bioaktivator dalam proses fermentasi karena mengandung mikroorganisme pengurai yang mempercepat dekomposisi bahan organik (Fitri dkk., 2026). MOL yang telah terbentuk digunakan dalam pembuatan POCIHU tanpa variasi volume penambahan. Untuk mengetahui kualitas pupuk organik cair yang dihasilkan, dilakukan analisis kandungan hara yang meliputi N-total, P_2O_5 , K_2O , dan C-organik yang dianalisis melalui pengujian laboratorium. Hasil analisis tersebut disajikan pada Tabel 8.

Tabel 8. Hasil Analisis Kandungan Hara POCIHU dan Perbandingannya dengan SNI

Parameter	Hasil Analisis	SNI 19-7030-2006
N-total (%)	0,09	$\geq 0,40$
P_2O_5 (%)	0,02	Min 0,1
K_2O (%)	0,10	Min 0,2
C-organik (%)	1,25	9,8-32

Berdasarkan Tabel 8, POCIHU yang dihasilkan mengandung N-total 0,09%, P_2O_5 0,02%, K_2O 0,10%, dan C-organik 1,25%. Nilai tersebut masih berada di bawah standar SNI 19-7030-2006. Rendahnya kandungan hara diduga dipengaruhi oleh karakteristik bahan baku dan proses fermentasi yang belum berlangsung optimal. Menurut Mahadi dkk. (2023), kandungan unsur hara pada pupuk organik cair dipengaruhi oleh komposisi bahan, aktivitas mikroorganisme, dan lama fermentasi. Penelitian tersebut melaporkan bahwa limbah cair tahu mengandung N 1,24%, P_2O_5 5,54%, K_2O 1,34%, dan C-organik 5,80%. Perbedaan hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa kualitas pupuk organik cair sangat dipengaruhi oleh kondisi bahan baku dan proses fermentasi yang digunakan.

Berdasarkan hasil uji pendahuluan, pembuatan POCIHU dilakukan dengan variasi volume MOL nasi basi sebesar 5 mL, 10 mL, dan 20 mL. Variasi tersebut bertujuan untuk mengetahui pengaruh jumlah MOL terhadap proses fermentasi dan karakteristik produk yang dihasilkan. Pada tahap ini, analisis difokuskan pada karakteristik fisik POCIHU yang meliputi warna, bau, pH, suhu, dan pembentukan gas selama fermentasi berlangsung. Penambahan MOL nasi basi dilakukan untuk membantu mempercepat proses fermentasi bahan organik melalui aktivitas mikroorganisme yang terkandung di dalamnya. MOL berfungsi sebagai sumber mikroorganisme pengurai yang berperan dalam mempercepat penguraian bahan organik menjadi senyawa yang lebih sederhana (Sugiharto & Mu'alimah, 2023). Oleh karena itu, pada tahap kedua penelitian tidak dilakukan kembali pengujian kandungan unsur hara.

Hal ini disebabkan karena penambahan MOL lebih berperan sebagai aktivator fermentasi daripada sebagai sumber utama unsur hara. Kandungan unsur hara POCIHU tetap lebih dipengaruhi oleh karakteristik bahan baku limbah cair tahu yang digunakan. Hal ini diperkuat oleh hasil penelitian Ekawandani & Halimah (2021) yang menyatakan bahwa MOL berfungsi sebagai starter fermentasi untuk membantu aktivitas mikroorganisme dalam proses penguraian bahan organik. Selanjutnya, analisis karakteristik POCIHU difokuskan pada perubahan sifat fisik selama proses fermentasi, meliputi warna, bau, pH, suhu, dan pembentukan gas. Pengamatan karakteristik tersebut dilakukan untuk mengetahui keberhasilan proses fermentasi serta menentukan kualitas POCIHU yang dihasilkan dari setiap variasi penambahan MOL nasi basi.

Berdasarkan hasil uji pendahuluan tersebut, prosedur pembuatan POCIHU kemudian diterapkan dalam kegiatan pembelajaran berbasis proyek. Pada kegiatan ini, siswa melakukan pembuatan POCIHU dan mengamati karakteristik pupuk yang dihasilkan

melalui pengamatan warna, bau, pH, suhu, dan pembentukan gas. Hasil pengamatan karakteristik POCIHU siswa disajikan pada Tabel 9.

Tabel 9. Hasil Pengamatan Karakteristik POCIHU oleh Siswa

Parameter	Kelompok					
	1 (5 mL)	2 (10 mL)	3 (20 mL)	4 (5 mL)	5 (10 mL)	6 (20 mL)
Warna	Coklat	Coklat	Coklat	Coklat	Coklat	Coklat
Bau	Kuat (Tape)	Kuat (Tape)	Kuat (Tape)	Kuat (Tape)	Kuat (Tape)	Kuat (Tape)
pH	4.10	4.08	4.03	4.10	4.06	4.03
Suhu (°C)	28	28	26	28	25	28
Gas	Sedikit	Sedikit	Sedikit	Sedikit	Sedikit	Sedikit

Berdasarkan Tabel 9, seluruh kelompok menghasilkan POCIHU dengan karakteristik yang relatif seragam, yaitu berwarna cokelat keruh, beraroma fermentasi seperti tape, memiliki pH 4,03–4,10, suhu 25–28°C, serta menghasilkan sedikit gas. Karakteristik tersebut menunjukkan bahwa proses fermentasi berlangsung pada seluruh kelompok. Suhu fermentasi yang mendekati suhu lingkungan masih mendukung aktivitas mikroorganisme, sedangkan terbentuknya gas menunjukkan adanya proses penguraian bahan organik selama fermentasi.

Jika dibandingkan dengan SNI 19-7030-2006, karakteristik warna dan aroma yang dihasilkan telah menunjukkan ciri bahan organik yang mengalami fermentasi. Selain itu, nilai pH cenderung menurun seiring dengan bertambahnya volume MOL yang digunakan. Penurunan pH tersebut diduga terjadi karena aktivitas mikroorganisme yang semakin tinggi sehingga menghasilkan lebih banyak asam organik selama proses fermentasi. Temuan ini sejalan dengan penelitian (Atfaoui dkk., 2021) yang melaporkan bahwa pH pupuk organik cair menurun selama fermentasi akibat akumulasi asam organik yang dihasilkan oleh aktivitas mikroba. Produk POCIHU yang dihasilkan siswa setelah proses fermentasi disajikan pada Gambar 5.



Gambar 5. Produk POCIHU Hasil Pembuatan Siswa

Karakteristik POCIHU yang diamati melalui parameter warna, bau, pH, suhu, dan pembentukan gas selanjutnya digunakan sebagai dasar dalam penilaian produk. Hasil penilaian menunjukkan bahwa sebagian besar kelompok mampu menghasilkan POCIHU dengan karakteristik yang sesuai dengan kriteria yang telah ditetapkan. Nilai rata-rata penilaian produk disajikan pada Tabel 10.

Tabel 10. Nilai Rata-rata Produk POCIHU

Aspek yang diukur	Rata-rata Nilai	Interpretasi
Warna	88	Sangat Baik
Bau	100	Sangat Baik
pH	100	Sangat Baik
Suhu (°C)	100	Sangat Baik
Gas	100	Sangat Baik
Rata-rata keseluruhan	97	Sangat Baik

Berdasarkan hasil penilaian produk pada Tabel 9, diperoleh nilai rata-rata sebesar 97 dengan kategori sangat baik. Secara rinci, aspek bau, pH, suhu, dan gas memperoleh skor maksimal yaitu 100, yang menunjukkan bahwa produk memenuhi kriteria secara optimal pada parameter tersebut. Sementara itu, aspek warna memperoleh nilai 88 dan tetap berada pada kategori sangat baik, meskipun menjadi nilai terendah dibandingkan aspek lainnya. Secara keseluruhan, hasil ini menunjukkan bahwa produk POCIHU yang dihasilkan telah memenuhi standar karakteristik yang ditetapkan serta memiliki kualitas yang sangat baik berdasarkan seluruh parameter penilaian.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian, penerapan lembar kerja berbasis proyek pada pembuatan POCIHU menunjukkan keterlaksanaan pembelajaran yang baik serta mampu melibatkan siswa secara aktif pada setiap tahap kegiatan. Hal ini diperkuat oleh hasil penilaian LKPD yang memperoleh rata-rata 92 dengan kategori sangat baik, yang

menunjukkan bahwa siswa dapat mengikuti rangkaian kegiatan dengan baik dan memahami proses pengolahan limbah menjadi pupuk organik cair secara lebih terarah. Literasi lingkungan siswa mengalami peningkatan, setelah mengikuti pembelajaran menggunakan lembar kerja berbasis proyek. Nilai *N-Gain* pada aspek konten sebesar 0,73, dan konteks sebesar 0,71 termasuk kategori tinggi, sedangkan aspek proses sebesar 0,70 termasuk kategori sedang. Selain itu, aspek sikap memperoleh persentase sebesar 85% dengan kategori sangat baik.

Selain itu, penilaian produk POCIHU memperoleh rata-rata 97 dengan kategori sangat baik. Hasil uji karakteristik menunjukkan bahwa produk telah memenuhi sebagian parameter sesuai SNI 19-7030-2006, terutama pada aspek fisik seperti bau, warna, pH, suhu, dan gas yang berada dalam kategori baik, namun kandungan unsur hara (N-total, P_2O_5 , K_2O , dan C-organik) masih belum memenuhi standar yang ditetapkan. Hal ini menunjukkan pembelajaran berbasis proyek pada pembuatan POCIHU efektif dalam meningkatkan literasi lingkungan siswa sekaligus menghasilkan produk yang baik secara karakteristik, meskipun masih diperlukan perbaikan pada kualitas kandungan unsur hara agar sesuai standar yang berlaku. parameter penilaian.

DAFTAR PUSTAKA

- Afriani, G., & Zuhri. (2025). Enhancing critical thinking skills through project based learning among high school learners. *Global Education Journal*, 3(3), 179–189.
- Ainun, N., & Rasmawan, R. (2021). Pengembangan LKPD Berbasis Proyek Pembuatan Ekstrak Indikator Alami Asam Basa. *Jurnal Education and development*, 9(3), 103–109.
- Atfaoui, K., Ettouil, A., Fadil, M., Asmaa, O., Inekach, S., Ouhssine, M., & Zarrouk, A. (2021). Controlled fermentation of food industrial wastes to develop a bioorganic fertilizer by using experimental design methodology. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, 20(8), 544–552.
- Badan Pusat Statistik. (2024). *Direktori Industri Manufaktur Indonesia (Vol. 13)*. Badan Pusat Statistik (BPS-Statistics Indonesia).
- Chen, S.-Y., Lai, C.-F., Lai, Y.-H., & Su, Y.-S. (2022). Effect of project-based learning on development of students' creative thinking. *International Journal of Electrical Engineering & Education*, 59(3), 232–250.
- Dheffawwaz, D., & Jalal, M. (2025). Pengembangan Lembar Kerja Peserta Didik (LKPD) Elektronik Berbasis Project Based Learning (PJBL) Pada Pembelajaran IPAS.

PUSTAKA: Jurnal Bahasa dan Pendidikan, 5(4), 183–195.

- Ekawandani, N., & Halimah, N. (2021). Pengaruh Penambahan Mikroorganisme Lokal (MOL) Dari Nasi Basi Terhadap Pupuk Organik Cair Cangkang Telur. *Biosfer : Jurnal Biologi dan Pendidikan Biologi*, 6(2), 79–86.
- Fatmala, T. R., Windayani, N., & Irwansyah, F. S. (2023). Application of Project-Based Worksheets for Making Conditioner from Aloe Vera (Aloe vera L.) to Develop Students' Scientific Performance. *ASEAN Journal for Science and Engineering in Materials*, 2(2), 159–168.
- Fisdausyi, M. F., & Riswanto, A. (2023). Peran Pembelajaran Berbasis Proyek Dalam Meningkatkan Keterampilan Sosial Mahasiswa. *Jurnal Konseling Pendidikan Islam*, 4(1), 144–151.
- Fitri, Z. N., Huldia, R. J., & Artayasa, I. P. (2026). Proses dan Penyebab Pembusukan Nasi serta Pemanfaatannya. *Contextual Natural Science Education Journal*, 4(1), 8–11.
- Hajaroh, S., & Raehanah. (2021). *Statistik Pendidikan Teori dan Praktik*. Sanabil.
- Herdianty, T., Windayani, N., & Sari. (2021). Pengembangan Lembar Kerja Berbasis Proyek Ekstraksi Steviosida Dari Daun Stevia (Stevia Rebaudiana) Sebagai Pemanis Pada Pembuatan Minuman Instan Serai Lemon. *Gunung Djati Conference Series*, 2.
- Irwan, & Kamarudin. (2021). Jurnal basicedu. Jurnal Basicedu,. *Jurnal Basicedu*, 5(5), 3(2), 524–532.
- Lubis, R. E., & Kinanti, A. A. (2025). Penerapan Pembelajaran Berbasis Proyek dalam Kurikulum Merdeka: Tantangan dan Solusi di Era Pendidikan 4.0. *Toga Jurnal Keguruan dan Ilmu Pendidikan*, 2(1), 24–31.
- Mahadi, I., Nursal, Manulang, D., & Solfan, B. (2023). Pemanfaatan Pupuk Organik Cair Limbah Cair Tahu Terhadap Pertumbuhan Selada Merah (Lactuca sativa L var. Red) dengan Teknik Hidroponik Sistem Rakit Apung. *Jurnal Agroteknologi*, 13(2), 69–76.
- Maulida, F., Farida, I., & Windayani, N. (2023). How To Improve Students' Enviromental Literacy On Plastic Waste Issues: Problem-Based Flipped Classroom. *Chemistry Education Study Program*, 8(2), 187–201.
- Mirawati, Fuldiaratman, & Yusnidar. (2021). Penerapan Model Project Based Learning (PjBL) berbasis Etnosains pada Materi Koloid dan Kaitannya dengan Kemampuan Berpikir Kreatif Siswa di SMA Negeri 2 Kota Jambi. *Jurnal Penelitian Pendidikan Kimia: Kajian Hasil Pendidikan Kimia*, 8(1).
- Miterianifa, M., & Mawarni, M. F. (2024). Penerapan Model Pembelajaran Literasi Lingkungan dalam Meningkatkan Pengetahuan dan Kesadaran Lingkungan. *Jurnal Lantanida Journal*, 14(2): 225-247

Sains dan Edukasi Sains, 7(1), 68–73.

- Nahlik, P., Kempf, L., Giese, J., Kojak, E., & Daubenmire, P. L. (2023). Developing green chemistry educational principles by exploring the pedagogical content knowledge of secondary and pre-secondary school teachers. *Chemistry Education Research and Practice*, 24(1), 283–298.
- Nandifa, A., & Ahsani, E. L. F. (2025). Pengaruh Project Based Learning Terhadap Literasi Lingkungan pada Mata Pelajaran IPAS. *Jurnal Ilmiah Pendidikan Citra Bakti*, 12(2), 600–613.
- Pagoray, H., Sulistyawati, S., & Fitriyani, F. (2021). Limbah Cair Industri Tahu dan Dampaknya Terhadap Kualitas Air dan Biota Perairan. *Jurnal Pertanian Terpadu*, 9(1), 53–65.
- Pambudi, Y. S., & Sudaryantiningih, Cicik Geraldita, G. (2024). Analisis Karakteristik Air Limbah Industri Tahu dan Alternatif Proses Pengolahannya Berdasarkan Prinsip-Prinsip Teknologi Tepat Guna. *Jurnal Ilmiah Indonesia*, 6(8).
- Prasetyo, D., & Evizal, R. (2021). Pembuatan dan Upaya Peningkatan Kualitas Pupuk Organik Cair. *Jurnal Agrotropika*, 20(2), 68.
- Putra, A. K., Oktavia, I. A., & Queentasya. (2024). Pengaruh Project Based Learning Berbasis Lingkungan Terhadap Literasi Lingkungan Peserta Didik. *Jurnal Pendidikan dan Ilmu Pengetahuan*, 24(3).
- Rosalina, L., Oktarina, R., Rahmiati, & Saputra, I. (2023). Buku Ajar Statistika. *FEBS Letters*, 185(1), 4–8.
- Salsafitri, M. F., Sunarya, R. R., Helsy, I., & Dahriah, I. (2025). Socioscientific Issues As A Pedagogical Approach To Foster Scientific Argumentation In Bioplastic Production Using Sugarcane Bagasse. *Lantanida Journal*, 13(1), 124–142.
- Saputri, D. (2023). Lembar Validasi : Instrumen yang Digunakan Untuk Menilai Produk yang Dikembangkan Pada Penelitian Pengembangan Bidang Pendidikan. *Biology and Education Journal*, 3(2), 133–151.
- Sari, E., Awal, R., Martalasari, M., & Pandia, D. A. (2023). Profil Literasi Lingkungan Peserta Didik Sman 3 Adiwiyata dan Sman 16 Non Adiwiyata di Rumbai. *Bio-Lectura : Jurnal Pendidikan Biologi*, 10(2), 265–272.
- Sari, S., Rohmah, S., Sobandi, O., & Nasrudin, D. (2020). Project based learning to develop student's creativities and characters in designing experiments. *Journal of Physics: Conference Series*, 1521(4).
- Sugiharto, B., & Mu'alimah, N. K. (2023). Pemanfaatan Mol Nasi Basi Sebagai Bioaktivator Pengomposan Sampah Daun Kering Dan Sampah Sayur. *Agroscience (AGSCI)*, Lantanida Journal, 14(2): 225-247

13(2), 161.

Sugiyono. (2021). *Metode penelitian kuantitatif, kualitatif, dan R & D*. Alfabeta.

Yasinta, R., Haryani, S., Sumarti, S. S., & Harjono, H. (2023). Analisis Kemampuan Metakognisi Peserta Didik pada Penggunaan Lembar Kerja Peserta Didik Berbasis PjBL Materi Elektrolit dan Nonelektrolit. *Jurnal Inovasi Pendidikan Kimia*, 17(1), 49–56.

Zuriatni, Y., Samsurizal, S., Makkulau, A., Qori, S., & Devi, A. K. (2024). Workshop Pembuatan Kompos untuk Meningkatkan Kesadaran Pengelolaan Sampah di Lingkungan Sekolah. *Kontribusi: Jurnal Penelitian dan Pengabdian Kepada Masyarakat*, 5(1), 86–94.