

PENINGKATAN LITERASI LINGKUNGAN PESERTA DIDIK MELALUI PROYEK BIOPLASTIK RUMPUT LAUT BERBASIS *ENVIRONMENTAL-STREAM*

Imam Ismawan¹, Tri Wahyu Agustina², Maratus Solikha³

Universitas Islam Negeri Sunan Gunung Djati Bandung^{1,2,3}

imamismawan13@gmail.com¹

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis peningkatan literasi lingkungan peserta didik melalui pembelajaran berbasis proyek yang dipadukan dengan pendekatan *Environmental-STREAM* melalui kegiatan pembuatan bioplastik berbahan dasar rumput laut. Metode yang digunakan adalah kuasi eksperimen dengan desain *Pretest-Posttest Control Group Design*. Sampel penelitian terdiri atas 33 peserta didik kelas X SMA yang terbagi ke dalam kelas eksperimen ($n=17$) dan kelas kontrol ($n=16$). Kelas eksperimen memperoleh pembelajaran *Project-Based Learning* (PjBL) terintegrasi *Environmental-STREAM*, sedangkan kelas kontrol memperoleh PjBL konvensional. Data dikumpulkan menggunakan instrumen tes literasi lingkungan yang mencakup aspek pengetahuan, keterampilan kognitif, sikap, dan perilaku. Analisis data dilakukan menggunakan *N-Gain*, uji normalitas, uji homogenitas, dan uji *Mann-Whitney*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kelas eksperimen memperoleh nilai *N-Gain* sebesar 0,75 (kategori tinggi), sedangkan kelas kontrol sebesar 0,48 (kategori sedang); aspek pengetahuan memperoleh peningkatan tertinggi dengan nilai *N-Gain* 0,81, sedangkan keterampilan kognitif memperoleh nilai terendah sebesar 0,61. Hasil uji *Mann-Whitney* menunjukkan nilai signifikansi 0,004 ($p < 0,05$), yang menunjukkan terdapat perbedaan peningkatan literasi lingkungan yang signifikan antara kelas eksperimen dan kelas kontrol. Simpulan, pembelajaran berbasis proyek terintegrasi *Environmental-STREAM* melalui pembuatan bioplastik rumput laut mampu meningkatkan literasi lingkungan peserta didik.

Kata Kunci: Bioplastik Rumput Laut, *Environmental-STREAM*, Lingkungan, Perubahan Lingkungan, *Project-Based Learning*

ABSTRACT

This research aimed to analyze the improvement of students' environmental literacy through project-based learning combined with the Environmental-STREAM approach by engaging in activities to create bioplastics made from seaweed. The method used was a quasi-experimental method with a Pretest-Posttest Control Group Design. The research sample consisted of 33 tenth-grade high school students divided into an experimental class ($n=17$) and a control class ($n=16$). The experimental class received Project-Based Learning (PjBL) integrated with

Environmental-STREAM, while the control class received conventional PjBL. Data were collected using an environmental literacy test instrument that includes aspects of knowledge, cognitive skills, attitudes, and behavior. Data analysis was conducted using N-Gain, normality test, homogeneity test, and Mann-Whitney test. The results showed that the experimental class obtained an N-Gain value of 0.75 (high category), while the control class obtained 0.48 (medium category); the knowledge aspect showed the highest improvement with an N-Gain value of 0.81, while the cognitive skills aspect showed the lowest value of 0.61. The Mann-Whitney test results indicated a significance value of 0.004 ($p < 0.05$), which shows a significant difference in the improvement of environmental literacy between the experimental class and the control class. In conclusion, project-based learning integrated with Environmental-STREAM through the production of seaweed bioplastics is capable of enhancing students' environmental literacy.

Keywords: *Environmental Change, Environmental Literacy, Environmental-STREAM, Project-Based Learning, Seaweed Bioplastics*

PENDAHULUAN

Permasalahan ekologis pada masa sekarang berkembang menjadi tantangan global yang semakin kompleks serta berpotensi mengganggu keberlanjutan kehidupan pada masa yang akan datang (Irawati et al., 2024). Rendahnya pemahaman masyarakat mengenai aspek-aspek lingkungan menyebabkan berbagai bentuk kerusakan alam terus berlangsung, bahkan sering kali dilakukan tanpa kesadaran akan dampak yang ditimbulkannya. Dengan demikian, penyelesaian permasalahan tersebut membutuhkan partisipasi beragam disiplin ilmu, sementara bidang pendidikan menempati posisi yang sangat strategis dalam menumbuhkan kesadaran pada kalangan generasi muda. Salah satu indikator untuk mengukur kepedulian individu terhadap lingkungan ialah tingkat literasi lingkungan yang dikuasainya (Zahrani et al., 2024).

Literasi lingkungan dapat dimaknai sebagai kapasitas individu dalam memahami hubungan antara aktivitas manusia dengan kondisi alam beserta sumber daya yang terkandung di dalamnya (Nastuti, 2020). Selain itu, konsep ini juga mencerminkan kecakapan seseorang dalam menginterpretasikan, mengolah, serta mengevaluasi berbagai informasi yang berkaitan dengan persoalan lingkungan hidup (Siahaan, 2026). Huang dan Hsin (2023) menjelaskan bahwa pendidikan literasi lingkungan berperan penting dalam membentuk peserta didik yang memiliki pengetahuan, keterampilan, sikap, dan perilaku yang mendukung keberlanjutan lingkungan (Fidan, 2016) [*posisi sitasi Fidan tampak janggal secara sintaksis — mohon dikonfirmasi apakah dimaksudkan berdiri sendiri*]. Kemampuan tersebut mencakup penguasaan wawasan, kepedulian, serta tindakan yang mencerminkan tanggung jawab terhadap keadaan lingkungan di sekitarnya (Sari et al., 2021). Dengan bekal kompetensi tersebut, peserta didik diharapkan mampu berpartisipasi

dalam mengurangi dampak kerusakan lingkungan maupun berkontribusi dalam penyelesaian berbagai persoalan ekologis yang terjadi (Aulia & Hadiyanto, 2022).

Berbagai penelitian terdahulu menunjukkan bahwa penerapan pembelajaran berbasis proyek dan pendekatan STEM/STEAM memiliki potensi yang signifikan dalam meningkatkan literasi lingkungan peserta didik. Hasil kajian Pertiwi (2024) mengungkapkan bahwa "penerapan pembelajaran berbasis proyek yang berlandaskan pendekatan STEM memberikan dampak positif yang nyata terhadap peningkatan literasi lingkungan peserta didik apabila dibandingkan dengan metode pembelajaran yang dilaksanakan secara konvensional". Hasil penelitian tersebut mengindikasikan bahwa keterlibatan peserta didik dalam proyek yang berkaitan dengan isu lingkungan dapat meningkatkan pemahaman mereka terhadap hubungan antara aktivitas manusia dan keberlanjutan lingkungan. Temuan serupa juga dilaporkan oleh Ginting dan Lukman (2023) yang menemukan bahwa "pembelajaran berbasis PjBL yang terintegrasi STEM mampu meningkatkan kemampuan peserta didik dalam menganalisis masalah lingkungan serta mendorong munculnya perilaku peduli lingkungan".

Selain itu, penelitian Wahyudi et al. (2025) mengungkapkan bahwa "penerapan PjBL-STEM yang dipadukan dengan konsep *Green Chemistry* tidak sebatas berkontribusi terhadap pengembangan kapasitas berpikir inovatif peserta didik". Lebih dari itu, penerapan tersebut juga terbukti mampu memperkuat literasi lingkungan, khususnya pada pembahasan kimia yang berkaitan erat dengan berbagai persoalan keberlanjutan dan pelestarian lingkungan. Sementara itu, Alkair et al. (2023) melaporkan bahwa "model pembelajaran STEM berbasis pemecahan masalah efektif dalam membangun kesadaran lingkungan dan keterampilan abad ke-21 melalui keterlibatan peserta didik dalam proyek-proyek keberlanjutan lingkungan". Temuan tersebut memperlihatkan bahwa integrasi berbagai disiplin ilmu dalam pembelajaran dapat membantu peserta didik memahami kompleksitas permasalahan lingkungan sekaligus mengembangkan kemampuan untuk merancang solusi yang inovatif.

Penelitian terdahulu menunjukkan bahwa pembelajaran berbasis proyek yang terintegrasi STEAM dan prinsip *Education for Sustainable Development* (ESD) efektif dalam meningkatkan kesadaran lingkungan peserta didik melalui pengembangan aspek pengetahuan, sikap, dan perilaku lingkungan (Setiawan et al., 2025). Namun, penelitian tersebut masih berfokus pada implementasi STEAM dalam konteks proyek lingkungan umum seperti pengomposan, pengurangan sampah, dan konservasi air, serta menggunakan desain satu kelompok tanpa kelompok pembanding. Selain itu, kajian tersebut belum mengintegrasikan unsur *Religion* sebagai landasan pembentukan nilai dan etika lingkungan, belum memanfaatkan potensi lokal sebagai sumber belajar kontekstual, dan belum mengukur literasi lingkungan secara komprehensif yang mencakup aspek pengetahuan, keterampilan kognitif, sikap, dan perilaku.

Dalam pelaksanaan proses belajar yang mengombinasikan dimensi keagamaan, hasil kajian Agustina et al. (2020) memperlihatkan bahwa "pendekatan STREAM (*Science, Technology, Religion, Engineering, Arts, and Mathematics*) efektif dalam menumbuhkan pola pikir ilmiah yang disertai kemampuan berinovasi, melakukan refleksi, serta mengembangkan rasa tanggung jawab". Kehadiran unsur *Religion* dalam kerangka STREAM memberikan kontribusi penting dalam penanaman nilai-nilai moral serta etika ekologis. Oleh sebab itu, peserta didik bukan sekadar menguasai berbagai konsep ilmu pengetahuan, tetapi juga menumbuhkan rasa tanggung jawab dalam menjaga kelestarian lingkungan sebagai bentuk ibadah kepada Tuhan serta penghargaan terhadap seluruh makhluk hidup. Meskipun demikian, berbagai penelitian terdahulu umumnya masih menitikberatkan perhatian pada pengembangan kemampuan berpikir tingkat tinggi, kreativitas, maupun literasi sains. Sementara itu, studi yang secara spesifik menelaah peningkatan literasi lingkungan melalui penerapan *Environmental-STREAM* berbasis proyek hingga kini masih tergolong terbatas jumlahnya (Mujaddi et al., 2022).

Kajian mengenai optimalisasi sumber daya lokal di Provinsi Banten, khususnya rumput laut, menunjukkan bahwa produksi dalam satu kali masa panen dapat mencapai kisaran 1.075,2 ton hingga 1.792 ton rumput laut basah (Soejarwo, 2017). Kendati memiliki potensi yang besar, pemanfaatan komoditas tersebut sebagai konteks dalam proyek pembelajaran yang berorientasi pada isu lingkungan masih belum banyak dieksplorasi. Sementara itu, pemaduan potensi lokal ke dalam proses pembelajaran mampu memberikan pengalaman yang lebih selaras dengan realitas kehidupan sehingga kegiatan belajar menjadi lebih bermakna dan sesuai bagi peserta didik. Salah satu alternatif pengembangan yang memiliki peluang untuk diwujudkan ialah pemrosesan rumput laut menjadi bioplastik yang memberikan dampak ekologis lebih baik dibandingkan plastik konvensional (Bugis, 2022).

Berbagai penelitian menunjukkan efektivitas pembelajaran STEAM dalam meningkatkan pengetahuan dan keterampilan abad ke-21; Leavy et al. (2023) menegaskan bahwa masih diperlukan penelitian empiris yang menguji implementasi STEAM pada konteks pembelajaran yang spesifik dengan pengukuran hasil belajar yang lebih kuat dan terukur. Meskipun penelitian mengenai STEAM telah berkembang pesat pada tingkat internasional, kajian yang secara khusus mengimplementasikan pendekatan STREAM (*Science, Technology, Religion, Engineering, Arts, and Mathematics*) masih relatif terbatas. Kondisi ini diduga dipengaruhi oleh perbedaan konteks budaya, nilai-nilai sosial, dan sistem pendidikan di berbagai negara, sehingga unsur *Religion* yang menjadi karakteristik utama STREAM belum banyak diintegrasikan ke dalam pembelajaran sains. Akibatnya, bukti empiris mengenai efektivitas pendekatan STREAM, khususnya dalam meningkatkan literasi lingkungan melalui proyek berbasis isu lingkungan lokal, masih memerlukan pengkajian lebih lanjut. Oleh karena itu, penelitian ini

dilakukan untuk mengkaji peningkatan literasi lingkungan melalui pembelajaran *Environmental-STREAM* berbasis proyek melalui pembuatan bioplastik rumput laut.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif melalui metode *quasi experiment* guna menelaah perkembangan literasi lingkungan melalui implementasi pembelajaran berbasis proyek yang dikombinasikan dengan pendekatan *Environmental-STREAM* dalam kegiatan pembuatan bioplastik berbahan rumput laut. Pendekatan kuantitatif digunakan untuk mengukur peningkatan perlakuan melalui data numerik yang dianalisis secara statistik (Soesana et al., 2023). Desain penelitian yang digunakan ialah *Pretest-Posttest Control Group Design*, yakni rancangan yang mencakup dua kelompok terpisah yang terdiri atas kelompok eksperimen serta kelompok kontrol (Sugiyono, 2018).

Kelompok eksperimen menjalani pembelajaran *Project-Based Learning* (PjBL) yang dikombinasikan dengan pendekatan *Environmental-STREAM*, sementara kelompok kontrol mendapatkan *Project-Based Learning* (PjBL) tanpa penggabungan pendekatan tersebut (konvensional). Pada tahap awal dan akhir kegiatan penelitian, kedua kelompok diberikan instrumen pengukuran literasi lingkungan guna mengetahui perubahan kemampuan yang terjadi setelah proses pembelajaran berlangsung. Gambaran mengenai rancangan penelitian tersebut disajikan sebagai berikut:

Tabel 1. Metode Kuasi Ekperimen

Kelompok	Pretest	Perlakuan	Posttest
Eksperimen	O ₁	X	O ₂
Kontrol	O ₁	-	O ₂

Keterangan: O₁ = Pretest literasi lingkungan; O₂ = Posttest literasi lingkungan; X = Pembelajaran PjBL terintegrasi *Environmental-STREAM*

Subjek penelitian mencakup seluruh peserta didik kelas X pada salah satu Sekolah Menengah Atas (SMA) di Provinsi Banten. Pemilihan responden menggunakan sampling jenuh sehingga keseluruhan populasi ditetapkan sebagai partisipan penelitian (Jaya, 2020). Sampel penelitian mencakup dua kelompok belajar, yaitu kelas X-1 sebagai kelompok kontrol dengan jumlah 16 peserta didik dan kelas X-2 sebagai kelompok eksperimen dengan jumlah 17 peserta didik. Teknik pengumpulan data yang digunakan pada penelitian ini mencakup beberapa cara berikut.

Tes Literasi Lingkungan

Penilaian dilaksanakan dengan memberikan tes pendahuluan (*pretest*) dan tes penutup (*posttest*) guna menilai kemajuan literasi lingkungan peserta didik sesudah mengikuti pembelajaran. Penyusunan instrumen tes mengacu pada

indikator literasi lingkungan yang mencakup dimensi pengetahuan, kecakapan, perilaku yang berkaitan dengan lingkungan, serta sikap terhadap isu-isu ekologis (NAAEE, 2011; Anugrah, 2023). Hasil data yang berasal dari *pretest* dan *posttest* kemudian diolah guna mengidentifikasi besarnya peningkatan kompetensi peserta didik menggunakan analisis *N-Gain* berdasarkan rumus pada persamaan (1) berikut.

$$N - gain = \frac{(Skor\ posttest - Skor\ pretest)}{(Skor\ maksimal - Skor\ pretest)} \times 100\% \quad (1)$$

Nilai *N-gain* yang diperoleh kemudian diinterpretasikan ke dalam tiga kriteria:

Tabel 2. Kriteria N-Gain

Nilai N-Gain (G)	Kriteria
$G \geq 0,7$	Tinggi
$0,3 \leq G < 0,7$	Sedang
$G < 0,3$	Rendah

(Hake, 1999)

Teknik analisis data yang digunakan dalam penelitian ini adalah uji *Mann-Whitney*. Uji ini merupakan salah satu teknik statistik non-parametrik yang digunakan untuk membandingkan rata-rata atau median antara dua kelompok data yang tidak saling berhubungan (*independen*). Dengan membandingkan rata-rata dua kelompok atau lebih, metode analisis ini berusaha membedakan pengelompokan data diskrit yang darinya kesimpulan dapat dibuat. Uji ini dipilih karena tidak mensyaratkan data berdistribusi normal, sehingga cocok digunakan apabila hasil uji normalitas menunjukkan bahwa data tidak terdistribusi secara normal. Untuk mengevaluasi hipotesis penelitian tentang dampak setiap variabel, uji *Mann-Whitney* dilakukan setelah data yang dikumpulkan diperiksa terlebih dahulu untuk mengetahui kenormalan dan homogenitasnya, sehingga penentuan jenis uji hipotesis yang digunakan didasarkan pada hasil kedua uji prasyarat tersebut.

Uji normalitas digunakan untuk menentukan apakah data penelitian terdistribusi secara teratur (*normal*) atau tidak. Pengujian ini penting dilakukan karena hasilnya menjadi dasar penentuan jenis uji statistik lanjutan yang sesuai, baik uji parametrik maupun non-parametrik. Penelitian ini menggunakan uji *Shapiro-Wilk* dengan tingkat signifikansi 0,05, sebagaimana lazim digunakan pada penelitian dengan jumlah sampel relatif kecil. Apabila nilai signifikansi yang diperoleh lebih besar dari 0,05, maka data dinyatakan berdistribusi normal; sebaliknya, apabila nilai signifikansi lebih kecil dari 0,05, maka data dinyatakan tidak berdistribusi normal.

Selanjutnya, uji homogenitas digunakan untuk menentukan apakah kedua kelompok sampel tersebut homogen, yaitu berasal dari populasi dengan varians

yang sama, atau heterogen, yaitu berasal dari populasi dengan varians yang berbeda. Pengujian ini dilakukan untuk memastikan bahwa perbedaan yang muncul antara kelompok eksperimen dan kelompok kontrol benar-benar disebabkan oleh perlakuan yang diberikan, bukan oleh perbedaan variabilitas data pada masing-masing kelompok. Dengan ambang signifikansi 0,05, uji homogenitas *Levene* digunakan dalam penelitian ini karena lebih robust terhadap data yang tidak berdistribusi normal dibandingkan uji homogenitas lainnya. Seluruh proses analisis data dalam penelitian ini dilakukan dengan menggunakan bantuan program SPSS versi 16.

Observasi Keterlaksanaan Pembelajaran

Pengamatan dilaksanakan untuk menilai implementasi pembelajaran berbasis proyek yang terintegrasi *Environmental-STREAM*. Pengamatan dilakukan menggunakan lembar observasi yang mengacu pada tahapan *Environmental-STREAM*, yaitu *Reflection*, *Research*, *Discovery*, *Application*, dan *Communication* (Agustina et al., 2020; Fitriyani et al., 2020). Skor yang terkumpul diinterpretasikan berdasarkan kriteria berikut.

Tabel 3. Kriteria Tingkat Keberhasilan

Persentase nilai	Kategori
86-100	Sangat baik
76-85	Baik
60-75	Cukup baik
55-59	Kurang baik
≤ 54	Kurang sekali

(Arikunto, 2010)

Sebelum instrumen tes diterapkan dalam penelitian, alat tes terlebih dahulu melalui serangkaian pengujian untuk memastikan kelayakan dan kualitasnya sebagai instrumen pengukuran. Pengujian tersebut meliputi uji validitas, reliabilitas, daya pembeda atau kemampuan diskriminasi, serta tingkat kesukaran butir soal. Tahapan ini penting dilakukan agar setiap butir soal benar-benar mampu mengukur aspek yang hendak diteliti, memiliki konsistensi hasil, serta sesuai dengan tingkat kemampuan peserta didik. Dengan demikian, instrumen yang digunakan dalam penelitian dapat menghasilkan data yang akurat, objektif, dan dapat dipertanggungjawabkan secara ilmiah (Jaya, 2020).

Berdasarkan hasil pengujian validitas dan reliabilitas, diperoleh bahwa dari 17 butir pertanyaan yang disusun, sebanyak 12 butir dinyatakan valid dan reliabel sehingga layak digunakan sebagai instrumen penelitian. Butir-butir soal tersebut kemudian digunakan dalam pelaksanaan *pretest* dan *posttest* untuk mengukur perkembangan literasi lingkungan peserta didik sebelum dan sesudah perlakuan pembelajaran. Penyusunan soal mengacu pada empat indikator literasi lingkungan agar aspek yang diukur sesuai dengan tujuan penelitian. Seluruh proses pengolahan dan analisis data hasil tes dilakukan dengan bantuan perangkat lunak *Statistical*

Package for Social Sciences (SPSS) versi 16.0 guna memperoleh hasil analisis yang lebih sistematis dan akurat.

Selain data hasil tes, penelitian ini juga menganalisis data keterlaksanaan pembelajaran. Data tersebut dianalisis secara deskriptif dengan menggunakan persentase ketercapaian pada setiap indikator, kemudian diinterpretasikan berdasarkan kategori tingkat keberhasilan pembelajaran (Arikunto, 2010). Sementara itu, data perkembangan literasi lingkungan peserta didik dianalisis menggunakan skor N-Gain untuk mengetahui peningkatan kemampuan peserta didik antara kondisi sebelum dan sesudah perlakuan (Hake, 1999). Sebelum dilakukan pengujian hipotesis, data terlebih dahulu diuji normalitas dan homogenitas sebagai uji prasyarat statistik, sehingga pemilihan teknik analisis selanjutnya dapat dilakukan secara tepat sesuai dengan karakteristik data penelitian.

HASIL PENELITIAN

Peningkatan Literasi Lingkungan

Kemajuan kompetensi literasi lingkungan peserta didik dapat diidentifikasi berdasarkan selisih nilai yang diperoleh pada tahap tes pendahuluan (*pretest*) dan tes akhir (*posttest*) yang dilakukan sebelum maupun sesudah kegiatan pembelajaran berlangsung. Berikutnya, nilai rata rata dari kedua pengukuran tersebut dikaji melalui perhitungan N Gain guna mengidentifikasi besarnya peningkatan yang terjadi. Hasil pengolahan N Gain selanjutnya ditampilkan pada tabel berikut:

Tabel 4. Rekapitulasi Hasil N-Gain Literasi Lingkungan & Indikator Literasi

Variabel/Indikator	Kelas Eksperimen	Kategori	Kelas Kontrol	Kategori
N-Gain Keseluruhan	0.75	Tinggi	0.48	Sedang
Pengetahuan	0.81	Tinggi	0.77	Tinggi
Keterampilan Kognitif	0.61	Sedang	0.40	Sedang
Sikap	0.79	Tinggi	0.43	Sedang
Prilaku	0.77	Tinggi	0.49	Sedang

Berdasarkan Tabel 4, skor N Gain pada kelompok perlakuan tercatat sebesar 0,75 sehingga masuk kategori tinggi, sementara kelompok pembandingan mendapatkan skor N Gain 0,48 yang tergolong kategori sedang (Hake, 1999). Temuan tersebut mengindikasikan terjadi peningkatan yang nyata pada capaian literasi lingkungan peserta didik di kelompok perlakuan setelah memperoleh pembelajaran berbasis proyek yang dipadukan dengan pendekatan *environmental-STREAM* melalui kegiatan pengembangan bioplastik berbahan rumput laut.

Berdasarkan Tabel 4, skor N Gain pada kelompok perlakuan tercatat sebesar 0,75 sehingga masuk kategori tinggi, sementara kelompok pembandingan mendapatkan skor N Gain 0,48 yang tergolong kategori sedang. Kondisi ini tercermin dari meningkatnya capaian literasi lingkungan peserta didik yang dievaluasi melalui empat aspek utama literasi lingkungan.

Tabel 5. Uji Normalitas

	Kelas	Kolmogorov Smirnov			Shapiro-Wilk		
		Statistik	df	sig	Statistik	df	sig
Hasil	Pre-Test Eksperimen	.130	17	.200*	.959	17	.622
	Post-Test Eksperimen	.189	17	.109	.946	17	.400
	Pre-Test Kontrol	.192	16	.119	.936	16	.304
	Post-Test Kontrol	.167	16	.200*	.923	16	.185

Berdasarkan Tabel 5, nilai signifikansi pretest kelas eksperimen sebesar 0,622 dan posttest sebesar 0,400. Sementara itu, nilai signifikansi pretest kelas kontrol sebesar 0,304 dan posttest sebesar 0,185. Seluruh nilai signifikansi lebih besar dari 0,05 ($p > 0,05$), sehingga dapat disimpulkan bahwa data pretest dan posttest pada kedua kelompok berdistribusi normal. Dengan demikian, data memenuhi asumsi normalitas sebagai salah satu prasyarat analisis statistik.

Tabel 6. Uji Homogenitas

		Levene Statistic	df1	df2	Sig.
Hasil	Based on mean	3.968	3	62	.012
	Based on median	3.146	3	62	.031
	Based on median and with adjusted df	3.146	3	48.200	.033
	Based on trimmed mean	3.933	3	62	.012

Berdasarkan Tabel 6, diperoleh nilai signifikansi sebesar 0,012 pada Based on Mean. Nilai tersebut lebih kecil dari 0,05 ($p < 0,05$), sehingga dapat disimpulkan bahwa varians data kedua kelompok tidak homogen. Oleh karena itu, pengujian hipotesis selanjutnya dilakukan menggunakan statistik nonparametrik Mann-Whitney U Test untuk mengetahui perbedaan peningkatan literasi lingkungan antara kelompok eksperimen dan kelompok kontrol.

Tabel 7. Uji Mann-Whitney

	Nilai
Mann-Whitney u	53.000
Wilcoxon W	189.000
Z	-2.846
Asymp. Sig. (2-tailed)	.004
Exact Sig. [2*(1-tailed Sig.)]	.004a

Hasil uji *Mann-Whitney* yang disajikan pada Tabel 7 menunjukkan nilai Mann-Whitney U sebesar 53,000 dengan nilai Asymp. Sig. (2-tailed) sebesar 0,004. Nilai signifikansi tersebut lebih kecil dari 0,05 ($p < 0,05$), sehingga H_0 ditolak dan H_1 diterima. Hasil ini menunjukkan terdapat perbedaan peningkatan literasi lingkungan yang signifikan antara peserta didik pada kelas eksperimen dan kelas

kontrol. Dengan demikian, pembelajaran berbasis proyek yang terintegrasi Environmental-STREAM melalui pembuatan bioplastik rumput laut terbukti lebih efektif dalam meningkatkan literasi lingkungan peserta didik dibandingkan pembelajaran *Project Based Learning* konvensional.

Keterlaksanaan Pembelajaran

Tahapan keterlaksanaan yang diobservasi merupakan tahapan PjBL-STREAM yang diintegrasikan dengan tahapan desain proses *engineering* yang terdiri dari *reflection* (pikir), *research* (desain), *discovery* (desain), *application* (buat), *application* (uji), dan *communication* (Sigit, 2022). Informasi mengenai keterlaksanaan oleh guru dan peserta didik tersaji pada Tabel 8.

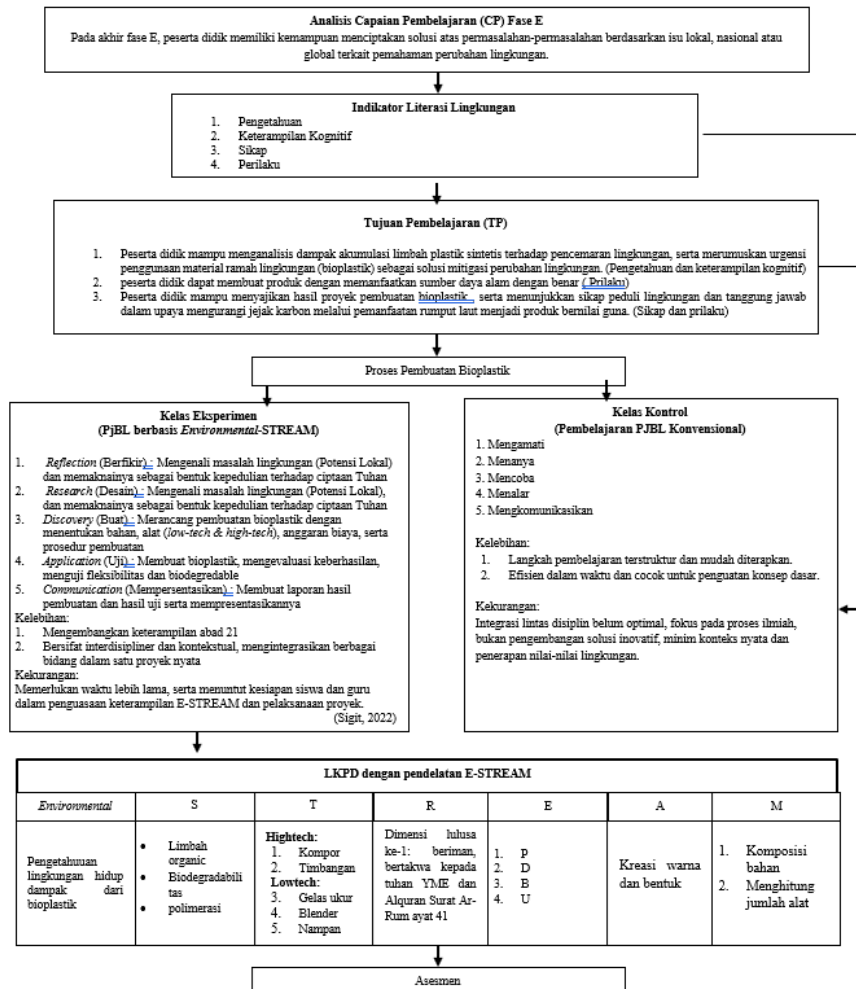
Tabel 8. Data Hasil Keterlaksanaan Pendekatan *Environmental-STREAM*

No	Tahapan E-STREAM	Pencapaian Guru	Kategori	Pencapaian Peserta didik	Kategori
1	<i>Reflection</i> (Pikir) & <i>Research</i> (Desain)	100	Sangat baik	100	Sangat baik
2	<i>Discovery</i> (Desain) & <i>Application</i> (Buat)	82	Baik	78	Baik
3	<i>Application</i> (Uji) & <i>Communication</i>	81	Baik	88	Sangat baik
	Rata-rata	87,6	Sangat baik	88,6	Sangat baik

Mengacu pada Tabel 8, pelaksanaan kegiatan oleh peserta didik secara umum memperoleh nilai rata-rata 88,6% dengan kategori sangat baik. Pada seluruh tahap pelaksanaan, peserta didik mendapatkan skor berkriteria baik hingga sangat baik. Hal ini menunjukkan bahwa peserta didik mampu mengikuti rangkaian kegiatan pembelajaran dengan baik sesuai sintaks yang telah dirancang. Perolehan skor keterlaksanaan peserta didik pada tahap *reflection* (pikir) dan *research* (desain) sebesar 100%, tahap *discovery* (desain) dan *application* (buat) sebesar 78%, tahap *application* (uji) dan tahap *communication* sebesar 88%. Skor tertinggi pada tahap *reflection* dan *research* mengindikasikan bahwa peserta didik aktif dalam memahami permasalahan serta merancang solusi awal secara optimal.

Sedangkan keterlaksanaan pada guru secara keseluruhan memperoleh skor dengan rata-rata 87,6% dengan kriteria sangat baik. Pada setiap tahapan keterlaksanaan guru juga memperoleh skor pada kriteria cukup, baik, dan sangat baik. Capaian tersebut memperlihatkan bahwa guru telah melaksanakan pembelajaran sesuai tahapan yang direncanakan, meskipun masih terdapat beberapa aspek yang perlu ditingkatkan pada tahap tertentu. Perolehan skor keterlaksanaan guru pada tahap *reflection* (pikir) dan *research* (desain) sebesar 100%, tahap *discovery* (desain) dan *application* (buat) sebesar 82%, tahap *application* (uji) dan *communication* sebesar 81%. Dengan demikian, keterlaksanaan pembelajaran baik dari sisi peserta didik maupun guru dapat

dinyatakan berlangsung sangat baik dan mendukung tercapainya tujuan pembelajaran.



Gambar 1. Implementasi Pendekatan Environmental-STREAM pada Pembelajaran Pembuatan Bioplastik Rumput Laut

Gambar 1 menunjukkan alur penerapan pendekatan Environmental-STREAM dalam pembelajaran pembuatan bioplastik rumput laut. Pendekatan ini mengintegrasikan isu lingkungan dengan unsur sains, teknologi, rekayasa, seni, dan matematika melalui kegiatan proyek. Dengan demikian, pembelajaran diarahkan untuk meningkatkan

PEMBAHASAN

Hasil penelitian memperlihatkan implementasi pembelajaran berbasis proyek yang mengintegrasikan pendekatan Environmental-STREAM melalui aktivitas pembuatan bioplastik dari rumput laut mampu menghasilkan peningkatan literasi lingkungan yang lebih optimal dibandingkan penerapan PjBL konvensional. Kondisi tersebut tercermin dari skor N-Gain kelompok perlakuan yang mencapai

0,75 dan tergolong tinggi, sedangkan kelompok pembanding memperoleh skor 0,48 yang berada pada kategori sedang. Selain itu, rata-rata nilai posttest kelompok perlakuan sebesar 86,65, melampaui kelompok pembanding yang memperoleh rata-rata 71,13. Hasil tersebut menunjukkan pengintegrasian unsur lingkungan, sains, teknologi, rekayasa, seni, matematika, serta agama ke dalam kegiatan proyek kontekstual mampu memperkuat pemahaman sekaligus meningkatkan kepedulian peserta didik terhadap berbagai persoalan lingkungan yang terjadi di sekitarnya.

Bertambahnya wawasan lingkungan pada kelompok eksperimen berkaitan erat dengan keikutsertaan peserta didik secara nyata selama seluruh tahapan aktivitas pembelajaran. Peserta didik tidak hanya memperoleh materi mengenai perubahan lingkungan secara konseptual, melainkan juga berpartisipasi aktif dalam mengidentifikasi permasalahan, menyusun alternatif pemecahan, merancang dan menghasilkan produk, melaksanakan pengujian, hingga mempresentasikan hasil proyek yang telah diselesaikan. Keterlibatan intensif tersebut sejalan dengan ciri pembelajaran berbasis proyek yang menjadikan peserta didik sebagai pelaku sentral dalam kegiatan belajar, sehingga mendorong lahirnya pemahaman yang lebih komprehensif melalui pengalaman langsung. Hasil penelitian ini memperkuat temuan Nurjanah & Purwantoyo (2023) yang menyatakan bahwa pembelajaran berbasis proyek yang dipadukan dengan pendekatan STEAM berkontribusi terhadap peningkatan kemampuan berpikir kritis serta keterampilan proses sains peserta didik. Selaras dengan itu, Setiawan et al. (2021) mengemukakan bahwa PjBL mampu menghubungkan materi pembelajaran dengan permasalahan yang ditemui dalam kehidupan sehari-hari sehingga pengalaman belajar menjadi lebih bermakna.

Di samping pada kegiatan proyek, pendekatan Environmental-STREAM memadukan beragam bidang keilmuan yang mencakup *Science*, *Technology*, *Religion*, *Engineering*, *Arts*, dan *Mathematics*. Perpaduan tersebut membuka peluang bagi peserta didik untuk mendapatkan pengalaman pembelajaran yang lebih menyeluruh dan beragam dimensi. Kehadiran unsur *religion* dalam pembelajaran berfungsi memperkuat dimensi etika dan moral sehingga peserta didik tidak hanya memiliki pemahaman mengenai isu lingkungan, tetapi juga terdorong untuk menerapkan perilaku yang lebih bertanggung jawab terhadap kelestarian lingkungan. Hasil tersebut sejalan dengan temuan penelitian Agustina et al. (2020). Alkair et al. (2023) menjelaskan bahwa pembelajaran berbasis STEM yang dikombinasikan dengan pendekatan pemecahan masalah efektif dalam meningkatkan kesadaran lingkungan dan keterampilan abad ke-21 peserta didik. Oleh karena itu, tingginya nilai N-Gain pada kelas eksperimen menunjukkan pembelajaran Environmental-STREAM dapat menjadi inovatif dalam meningkatkan literasi lingkungan peserta didik.

Berdasarkan data pada Tabel 4, peningkatan literasi lingkungan pada kelompok perlakuan tampak terjadi pada seluruh aspek yang diukur. Dimensi pengetahuan memperlihatkan kenaikan tertinggi dengan nilai N-Gain 0,81 yang

berada pada kategori tinggi. Berikutnya, dimensi sikap mencatat skor 0,79, dimensi perilaku memperoleh 0,77, sementara dimensi keterampilan kognitif mencapai 0,61. Sementara itu, pada kelas kontrol hanya indikator pengetahuan yang mencapai kategori tinggi (0,77), sedangkan indikator lainnya masih berada pada kategori sedang.

Aspek Pengetahuan

Pada dimensi pengetahuan, nilai N-Gain yang dihasilkan sebesar 0,81 sehingga masuk dalam kategori tinggi. Hasil tersebut mengindikasikan peserta didik mampu memahami secara lebih baik berbagai konsep yang berkaitan dengan perubahan lingkungan, dampak pencemaran akibat limbah plastik, serta pemanfaatan rumput laut sebagai bahan baku alternatif dalam pembuatan bioplastik. Selama pelaksanaan pembelajaran, peserta didik secara aktif melakukan penelusuran informasi dan kajian pustaka mengenai konsekuensi negatif sampah plastik terhadap lingkungan hidup. Aktivitas tersebut memberikan kontribusi yang besar terhadap peningkatan pemahaman mereka. Temuan ini selaras dengan pendapat Fidan (2016) yang menjelaskan bahwa literasi lingkungan berawal dari terbentuknya pemahaman konseptual yang kuat mengenai berbagai isu lingkungan dan keberlanjutan. Selain itu, hasil penelitian ini juga didukung oleh temuan Pertiwi (2024) yang menunjukkan bahwa penerapan STEM Project-Based Learning mampu meningkatkan literasi lingkungan peserta didik secara signifikan karena memberikan ruang bagi mereka untuk mengeksplorasi permasalahan lingkungan melalui kegiatan proyek yang bersifat autentik dan kontekstual.

Aspek Keterampilan Kognitif

Hasil penelitian menunjukkan bahwa indikator keterampilan kognitif memperoleh nilai N-Gain sebesar 0,61 yang berada pada kategori sedang dan merupakan nilai terendah dibandingkan indikator pengetahuan, sikap, dan perilaku. Meskipun mengalami peningkatan setelah penerapan pembelajaran berbasis proyek terintegrasi Environmental-STREAM, capaian tersebut mengindikasikan bahwa pengembangan keterampilan kognitif memerlukan proses yang lebih kompleks dibandingkan peningkatan pengetahuan, sikap, maupun perilaku. Keterampilan kognitif tidak hanya menuntut peserta didik untuk mengingat dan memahami informasi, tetapi juga melibatkan kemampuan menganalisis permasalahan, mengevaluasi berbagai alternatif solusi, serta merancang keputusan yang tepat berdasarkan bukti dan data yang tersedia. Proses berpikir tingkat tinggi tersebut membutuhkan waktu latihan yang lebih panjang dan pengalaman belajar yang berkelanjutan agar dapat berkembang secara optimal (Anderson & Krathwohl, 2001).

Pada penelitian ini, peserta didik telah dilibatkan dalam berbagai aktivitas analisis melalui identifikasi permasalahan pencemaran plastik, perancangan pembuatan bioplastik rumput laut, serta evaluasi hasil produk yang dihasilkan.

Namun, sebagian peserta didik masih mengalami kesulitan ketika harus menghubungkan berbagai konsep lingkungan, sains, dan teknologi untuk menghasilkan solusi yang argumentatif dan berbasis data. Kondisi tersebut menyebabkan peningkatan keterampilan kognitif tidak sebesar peningkatan pada aspek pengetahuan yang lebih mudah diperoleh melalui aktivitas pencarian informasi dan diskusi kelompok. Temuan ini sejalan dengan penelitian Nurjanah & Purwantoyo (2023) yang menyatakan bahwa kemampuan berpikir kritis dan pemecahan masalah memerlukan pembiasaan yang intensif melalui kegiatan pembelajaran yang dilakukan secara berulang dan berkesinambungan. Selain itu, Yıldırım (2021) menjelaskan bahwa pembelajaran berbasis STEM/STREAM mampu meningkatkan keterampilan berpikir peserta didik, tetapi perkembangan kemampuan tersebut umumnya berlangsung lebih lambat dibandingkan peningkatan pengetahuan karena menuntut kemampuan analisis dan sintesis yang lebih kompleks.

Aspek Sikap

Nilai N-Gain sebesar 0,79 pada dimensi sikap ekologis memperlihatkan adanya perubahan positif dalam cara pandang serta tingkat kepedulian peserta didik terhadap lingkungan setelah mengikuti rangkaian pembelajaran. Melalui tahapan *reflection* dan *research*, peserta didik memperoleh kesempatan untuk menelaah berbagai konsekuensi kerusakan alam yang ditimbulkan oleh penggunaan plastik konvensional sehingga tumbuh pemahaman yang lebih mendalam mengenai pentingnya menjaga kelestarian lingkungan. Selain itu, penyatuan unsur *Religion* dalam pendekatan Environmental-STREAM turut memberikan pengaruh dalam pembentukan karakter yang lebih peduli terhadap lingkungan sekitar. Peserta didik diarahkan untuk memahami upaya menjaga kelestarian alam merupakan bagian dari amanah moral sekaligus spiritual manusia sebagai khalifah di muka bumi. Aktivitas reflektif yang menghubungkan persoalan lingkungan dengan prinsip-prinsip keagamaan terbukti mampu menumbuhkan rasa tanggung jawab, empati, serta tekad yang lebih kuat dalam mendukung keberlangsungan lingkungan hidup. Hasil penelitian ini memperkuat pandangan Mustika Sari (2021) yang menjelaskan bahwa literasi lingkungan tidak hanya berhubungan dengan penguasaan informasi, melainkan juga mencakup dimensi kesadaran, nilai, dan orientasi sikap terhadap lingkungan. Temuan tersebut juga selaras dengan penelitian Yıldırım (2021) yang menyatakan bahwa pengintegrasian STEM dalam pendidikan lingkungan mampu meningkatkan sensitivitas dan perhatian peserta didik terhadap berbagai persoalan lingkungan melalui keterlibatan aktif mereka dalam aktivitas penyelesaian masalah.

Aspek Perilaku

Aspek perilaku mencatat skor N-Gain sebesar 0,77 yang berada pada kategori tinggi. Temuan tersebut mengindikasikan bahwa sesudah mengikuti proses pembelajaran, peserta didik mulai memperlihatkan pola kebiasaan yang semakin

menunjang upaya konservasi lingkungan. Aktivitas pengembangan bioplastik memberikan pengalaman nyata kepada peserta didik dalam menghasilkan produk pengganti yang lebih aman bagi lingkungan apabila dibandingkan dengan plastik berbasis sintesis. Pengalaman langsung tersebut menjadi faktor pendorong munculnya perilaku yang lebih bertanggung jawab terhadap keberlanjutan lingkungan. Temuan ini mendukung hasil penelitian Aulia & Hadiyanto (2022) yang menyebutkan bahwa peningkatan literasi lingkungan berkontribusi terhadap terbentuknya perilaku yang menunjukkan kepedulian terhadap lingkungan pada peserta didik. Selain itu, Ginting (2023) mengungkapkan bahwa penerapan Project Based Learning yang dipadukan dengan STEM mampu mendorong peserta didik untuk mewujudkan tindakan konkret dalam menjaga lingkungan melalui keterlibatan aktif pada proyek-proyek yang berkaitan dengan isu keberlanjutan. Dengan demikian, tingginya peningkatan pada indikator tindakan dalam penelitian ini mengindikasikan pendekatan Environmental-STREAM tidak hanya berhasil memperkuat pemahaman dan orientasi sikap terhadap lingkungan, tetapi juga efektif dalam mendorong peserta didik untuk menerapkan perilaku yang mendukung keberlangsungan lingkungan hidup secara langsung dalam kehidupan sehari-hari.

Berdasarkan Tabel 8, implementasi pembelajaran Environmental-STREAM oleh guru mencapai rerata 87,6%, sedangkan oleh peserta didik mencapai 88,6%, keduanya berada dalam kategori sangat baik. Temuan tersebut menegaskan bahwa setiap fase pembelajaran berhasil diterapkan selaras dengan perencanaan yang telah dibuat.

Pada fase *reflection* dan *research*, tingkat keterlaksanaan yang dicapai oleh guru maupun peserta didik masing-masing memperoleh persentase sempurna, yakni 100%. Hasil tersebut menggambarkan tingginya partisipasi peserta didik dalam mengenali persoalan limbah plastik sekaligus menelusuri berbagai informasi yang berkaitan dengan alternatif solusi yang lebih berwawasan lingkungan. Tahapan ini menjadi landasan utama dalam pembelajaran berbasis proyek karena membantu peserta didik membangun pemahaman yang komprehensif mengenai persoalan yang akan dipecahkan melalui proyek yang dirancang dan dilaksanakan.

Selanjutnya, pada fase *discovery* dan *application*, tingkat pelaksanaan oleh peserta didik mencapai 78%, sedangkan guru memperoleh 82%, yang keduanya berada dalam kategori baik. Dalam tahapan ini, peserta didik melakukan perancangan formulasi bahan sekaligus memproduksi bioplastik berbahan dasar rumput laut. Serangkaian aktivitas tersebut menuntut penerapan berbagai unsur ilmu pengetahuan, teknologi, rekayasa, dan matematika secara terpadu dalam satu kegiatan pembelajaran. Agustina et al. (2020) menjelaskan bahwa pendekatan STREAM mampu menumbuhkan pola pikir ilmiah, inovatif, serta reflektif melalui keterlibatan aktif peserta didik dalam proses perancangan dan rekayasa produk.

Selanjutnya, pada tahap *application* dan *communication*, peserta didik memperoleh skor 88% dan guru 81%. Pada tahap ini peserta didik melakukan

pengujian produk bioplastik yang telah dibuat kemudian mempresentasikan hasilnya kepada kelompok lain. Aktivitas komunikasi ilmiah tersebut membantu peserta didik mengembangkan kemampuan menjelaskan hasil proyek dan mempertahankan argumentasi berdasarkan data yang diperoleh. Setiawan et al. (2021) dalam Triprani et al. (2023) menjelaskan bahwa aktivitas penyampaian hasil dan forum diskusi dalam pembelajaran berbasis proyek memiliki peranan yang sangat penting dalam memperdalam penguasaan konsep sekaligus meningkatkan kemampuan berpikir kritis peserta didik.

Secara keseluruhan, hasil penelitian ini memperkuat temuan Yıldırım (2021) bahwa integrasi STREAM dalam pendidikan lingkungan mampu meningkatkan kesadaran lingkungan dan keterampilan abad ke-21 peserta didik. Selain itu, tingginya keterlaksanaan seluruh tahapan pembelajaran menunjukkan model Environmental-STREAM dapat diterapkan dengan baik dalam pembelajaran perubahan lingkungan. Penggabungan unsur *religion* melalui perenungan terhadap nilai kepedulian lingkungan turut memperkuat pembentukan karakter sehingga peserta didik bukan hanya mendapatkan wawasan, tetapi juga menumbuhkan kewajiban etis dalam menjaga kelestarian lingkungan.

SIMPULAN

Berdasarkan keseluruhan temuan penelitian, dapat ditegaskan implementasi pembelajaran berbasis proyek yang dipadukan dengan pendekatan *Environmental-STREAM* melalui kegiatan pengembangan bioplastik berbahan rumput laut terbukti mampu meningkatkan literasi lingkungan peserta didik secara. Nilai tertinggi didapatkan pada aspek pengetahuan dan aspek terendah yaitu keterampilan kognitif

DAFTAR PUSTAKA

- Agustina, T. W., Rustaman, N. Y., Riandi, & Purwianingsih, W. (2020). Pendekatan STREAM (Science-Technology-Religion-Engineering-Arts-Mathematics) membekalkan kebiasaan berpikir mahasiswa. *Edusains*, 12(2), 283–296. <https://doi.org/10.15408/es.v12i2.17605>
- Alkair, S., Ali, R., Abouhashem, A., Aledamat, R., Bhadra, J., Ahmad, Z., Sellami, A., & Al-Thani, N. J. (2023). A STEM model for engaging students in environmental sustainability programs through a problem-solving approach. *Applied Environmental Education & Communication*, 22(1), 13–26. <https://doi.org/10.1080/1533015X.2023.2179556>
- Anderson, L. W., & Krathwohl, D. R. (Eds.). (2001). *A taxonomy for learning, teaching, and assessing: A revision of Bloom's taxonomy of educational objectives*. Addison Wesley Longman.
- Arikunto, S. (2010). *Prosedur penelitian: Suatu pendekatan praktik* (Edisi revisi). Rineka Cipta.
- Aulia, A. T., Aji, A., Sriyanto, & Findayani, A. (2023). Hubungan antara literasi lingkungan dengan kemampuan memecahkan masalah lingkungan pada

- peserta didik di sekolah Adiwiyata SMA N 4 Semarang. *Edu Geography*, 11(3), 1–9. <https://doi.org/10.15294/edugeo.v11i2.69710>
- Aulia, R., & Hadiyanto, F. (2022). Kepedulian lingkungan melalui literasi lingkungan pada anak usia dini. *Jurnal Obsesi: Jurnal Pendidikan Anak Usia Dini*, 6(6), 6690–6700. <https://doi.org/10.31004/obsesi.v6i6.3485>
- Bugis, C. P. D. N. M. (2022). Studi pendahuluan pembuatan bioplastik dari alga *Caulerpa* sp. dengan variasi konsentrasi asam asetat. *Jambura Fish Processing Journal*, 4(1), 46–51. <https://doi.org/10.37905/jfpj.v4i1.13584>
- Fidan, N. K. (2016). Acquisition of operational environmental literacy in science education. *International Journal of Environmental & Science Education*, 11(13), 5951–5968.
- Fitriyani, A., Toto, T., & Sari, E. E. (2020). Implementasi model PjBL-STEM untuk meningkatkan keterampilan berpikir tingkat tinggi. *Bioed: Jurnal Pendidikan Biologi*, 8(2), 1–6. <https://doi.org/10.25157/jpb.v8i2.4375>
- Ginting, F. W., & Lukman, I. R. (2023). Analysis of student environmental literacy: PjBL-based learning that is integrated STEM. *Jurnal Penelitian Pendidikan IPA*, 9(1), 242–248. <https://doi.org/10.29303/jppipa.v9i1.2599>
- Hake, R. R. (1999). *Analyzing change/gain scores*. American Educational Research Association. <http://www.physics.indiana.edu/~sdi/AnalyzingChange-Gain.pdf>
- Huang, H., & Hsin, C. T. (2023). Environmental literacy education and sustainable development in schools based on teaching effectiveness. *International Journal of Sustainable Development and Planning*, 18(5), 1639–1648. <https://doi.org/10.18280/ijstdp.180535>
- Irawati, H., Aprilia, N., & Saifuddin, M. F. (2023). Literasi lingkungan mahasiswa keguruan. *Didaktika Biologi: Jurnal Penelitian Pendidikan Biologi*, 7(2), 91–97.
- Jaya, I. M. L. M. (2020). *Metode penelitian kuantitatif dan kualitatif: Teori, penerapan, dan riset nyata*. Anak Hebat Indonesia.
- Leavy, A., Dick, L., & Stylianou, E. (2023). The prevalence and use of emerging technologies in STEAM education: A systematic review of the literature. *Journal of Computer Assisted Learning*, 39(4), 1061–1082. <https://doi.org/10.1111/jcal.12806>
- Mujaddi, M. H., Agustina, T. W., & Maryanti, S. (2022). Critical thinking skills using Science Technology Religion Engineering Arts and Mathematics (STREAM) approach on ecosystem materials. *Scientiae Educatia*, 11(2), 185–193. <https://doi.org/10.24235/sc.educatia.v11i2.11440>
- NAAEE. (2011). *Developing a framework for assessing environmental literacy (K–12)*. <https://naaee.org/resources/excellence-guidelines>
- Nastuti, R., & Lelfita. (2020). Hubungan pengetahuan lingkungan terhadap perilaku ramah lingkungan mahasiswa STKIP YDB Lubuk Alung. *Jurnal*

- Kepemimpinan dan Pengurusan Sekolah*, 5(2), 155–162.
<https://doi.org/10.34125/kp.v5i2.541>
- Nurjanah, & Purwantoyo, E. (2023). Efektivitas model pembelajaran Project Based Learning berbasis STEAM untuk meningkatkan kemampuan berpikir kritis dan keterampilan proses pada materi perubahan lingkungan. *Prosiding Seminar Nasional Biologi XI FMIPA Universitas Negeri Semarang*, 211–217.
- Pertiwi, T. U. (2024). The effectiveness of STEM project-based learning in improving students' environmental literacy abilities. *Jurnal Pendidikan Biologi Indonesia*, 10(2), 476–485.
<https://doi.org/10.22219/jpbi.v10i2.33562>
- Sari, M., Afandi, A., & Marlina, R. (2021). Pentingnya literasi lingkungan dalam pembelajaran abad 21. *Prosiding Seminar Nasional Pendidikan FKIP UNTAN 2020*, 685–689.
- Setiawan, B., Barokah, A., Hafifah, D. N., & Iasha, V. (2025). Enhancing environmental awareness through STEAM-based learning with ESD principles in elementary education. *International Journal of Education and Learning Studies*, 1(1), 1–12. <https://doi.org/10.64421/ijels.v1i1.1>
- Setiawan, L., Wardani, N. S., & Permana, T. I. (2021). Peningkatan kreativitas siswa pada pembelajaran tematik menggunakan pendekatan Project-Based Learning. *Jurnal Pembangunan Pendidikan: Fondasi dan Aplikasi*, 8(2), 163–171. <https://doi.org/10.21831/jppfa.v8i2.40574>
- Siahaan, D. T. A., & Paidi. (2026). Pengembangan e-module pendukung PBL terintegrasi potensi lokal Yogyakarta pada materi perubahan lingkungan untuk meningkatkan literasi lingkungan dan kemandirian belajar siswa. *BIOEDUSAINS: Jurnal Pendidikan Biologi dan Sains*, 9(2), 579–594.
<https://doi.org/10.31539/w9m43p85>
- Sigit, D. V., Ristanto, R. H., & Mufida, S. N. (2022). Integration of project-based e-learning with STEAM: An innovative solution to learn ecological concept. *International Journal of Instruction*, 15(3), 23–40.
<https://doi.org/10.29333/iji.2022.1532a>
- Soejarwo, P. A. (2017). Potensi usaha budi daya rumput laut di Pulau Panjang Kabupaten Serang, Provinsi Banten. *Buletin Ilmiah Marina Sosial Ekonomi Kelautan dan Perikanan*, 3(2), 91–96. <https://ejournal-balitbang.kkp.go.id/index.php/mra/article/view/7326>
- Soesana, A., Subakti, H., Karwanto, Fitri, A., Kuswandi, S., Sastri, L., Falani, I., Aswan, N., Hasibuan, F. A., & Lestari, H. (2023). *Metodologi penelitian kuantitatif*. Yayasan Kita Menulis.
- Sugiyono. (2018). *Metode penelitian pendidikan: Pendekatan kuantitatif, kualitatif, dan R&D*. Alfabeta.
- Triprani, E. K., Sulistyani, N., & Aini, D. F. N. (2023). Implementasi pembelajaran STEAM berbasis PjBL terhadap kemampuan problem solving pada materi

- energi alternatif di SD. *Scholaria: Jurnal Pendidikan dan Kebudayaan*, 13(2), 176–187. <https://doi.org/10.24246/j.js.2023.v13.i2.p176-187>
- Wahyudi, H., Gani, A., Syukri, M., Ramadhan, R. F., & Safrijal. (2025). The effect of PjBL-STEM integrated with green chemistry principles on enhancing creative thinking skills and environmental literacy. *EduChemia*, 10(1), 95–114. <https://doi.org/10.62870/educhemia.v10i1.32815>
- Yıldırım, B. (2021). Integration of STEM into environmental education: Preservice teachers' opinions. *Journal of STEM Teacher Institutes*, 1(1), 50–57. <http://jstei.com/index.php/jsti/article/view/5>
- Zahrani, U., Hadiansah, H., & Yuliawati, A. (2024). Peningkatan literasi lingkungan siswa melalui penggunaan e-modul berbasis socio-scientific issues pada materi perubahan lingkungan. *Semantik: Jurnal Riset Ilmu Pendidikan, Bahasa dan Budaya*, 2(4).