

Analisis Interaksi Antar Komponen Ekosistem Pesisir Pantai Lombang sebagai Sumber Belajar IPA SMP

Wardah Fitriyani¹, Farah Lailatul Nur Alifiyah^{2*}, Ifa Rahmawati³, Isna Silfiatul Ismawati⁴

^{1,2,3,4}Program Studi Pendidikan IPA, Universitas Trunojoyo Madura, Indonesia

*Email Correspondence: farahlailatul2002@gmail.com

ARTICLE INFO

Article History:

Submitted : March 17, 2026
Final Revised : March 27, 2026
Accepted : March 28, 2026
Published : March 31, 2026

Keywords:

coastal ecosystem, ecosystem interactions, learning resources, junior high school science



This is an open access article under the CC BY SA

Copyright © 2025 by Author. Published by PT Komunitas Peneliti Alinea

ABSTRACT

Science learning at the junior secondary level requires the integration of real environmental contexts to help students understand ecosystem concepts meaningfully rather than abstractly. Coastal areas represent dynamic environments where biotic and abiotic components interact visibly and continuously. This study aims to analyze the interactions among ecosystem components in the coastal area of Pantai Lombang and to examine its potential as a learning resource for junior high school science, particularly on ecosystem topics. This research employed a descriptive qualitative approach. Data were collected through field observations and documentation of biotic and abiotic components found in the coastal ecosystem. The analysis involved identifying ecosystem components, classifying the types of interactions occurring among them, and mapping the findings to the junior high school science curriculum. The results indicate that the coastal ecosystem of Pantai Lombang demonstrates various interactions, including biotic-biotic and biotic-abiotic relationships, which reflect key concepts such as ecosystem components, trophic interactions, and environmental balance. Therefore, the site has strong potential to be utilized as a contextual, environment-based learning resource to support science instruction at the junior secondary level.

1. PENDAHULUAN

Pembelajaran Ilmu Pengetahuan Alam (IPA) pada abad ke-21 mengalami pergeseran paradigma dari pendekatan yang bersifat konseptual-teoritis menuju pembelajaran yang kontekstual dan berorientasi pada realitas lingkungan (Judijanto et al., 2025). Pergeseran ini menjadi semakin krusial dalam era Antroposen, suatu periode geologis di mana aktivitas manusia secara signifikan mempengaruhi sistem bumi dan keberlanjutan ekosistem global (OECD, 2023). Literasi sains tidak lagi dimaknai sebatas penguasaan konsep, tetapi mencakup kemampuan individu dalam menggunakan pengetahuan ilmiah untuk mengambil keputusan berbasis bukti terkait isu lingkungan dan keberlanjutan (OECD, 2023; Firdaus & Nurohman, 2025). Oleh karena itu, pembelajaran IPA dituntut untuk mampu mengembangkan kompetensi siswa dalam memahami, mengevaluasi, dan merespons fenomena ilmiah secara kritis dan kontekstual (Tang, 2024; Firdaus, 2025).

Transformasi ini selaras dengan implementasi Kurikulum Merdeka yang menekankan fleksibilitas pembelajaran berbasis konteks lokal guna mencapai Capaian Pembelajaran (CP) secara lebih bermakna (Kemendikbudristek, 2022). Kurikulum nasional mengintegrasikan

pendekatan deep learning, yang mendorong siswa untuk membangun pemahaman konseptual melalui eksplorasi, refleksi, dan keterkaitan antara konsep ilmiah dengan pengalaman nyata (Kemendikdasmen, 2025). Pendekatan ini menempatkan lingkungan sekitar sebagai sumber belajar autentik atau “living laboratory” yang menciptakan terjadinya konstruksi pengetahuan secara lebih mendalam dan berkelanjutan (Martek et al., 2022; Firdaus et al., 2024).

Sejumlah studi empiris menunjukkan bahwa pemanfaatan lingkungan nyata sebagai basis pembelajaran efektif dalam meningkatkan literasi sains dan keterlibatan siswa. Penelitian oleh Nichols et al. (2016); Engels et al. (2019); Bolick et al. (2024); Yulianti (2024); Nikolidakis & Kosmas (2026) menemukan bahwa integrasi pembelajaran berbasis proyek dengan pendekatan place-based education mampu memperkuat pemahaman konseptual sekaligus keterampilan berpikir kritis siswa. Temuan ini diperkuat oleh Kuo et al. (2019) yang menunjukkan bahwa interaksi langsung dengan lingkungan alam berkontribusi signifikan terhadap peningkatan fokus, motivasi, dan hasil belajar siswa. Meskipun demikian, sebagian besar penelitian masih berfokus pada implementasi pedagogis secara umum, sementara kajian yang secara spesifik mengkaji potensi interaksi ekosistem lokal sebagai basis pengembangan pembelajaran IPA kontekstual masih terbatas. Terdapat kebutuhan untuk mengeksplorasi secara sistematis bagaimana karakteristik ekosistem lokal dapat diintegrasikan ke dalam desain pembelajaran yang mendukung deep learning.

Pulau Madura, yang secara geografis didominasi oleh wilayah pesisir, memiliki potensi biodiversitas yang tinggi, khususnya pada ekosistem Pantai (Rachman & Hidayah, 2025). Namun, potensi ini cenderung dimanfaatkan secara terbatas sebagai objek pariwisata tanpa optimalisasi sebagai sumber belajar kontekstual (BPS, 2025). Salah satu kawasan yang memiliki karakteristik ekologis unik adalah Pantai Lombang di Kabupaten Sumenep, yang dikenal dengan keberadaan tegakan Cemara Udang (*Casuarina equisetifolia*) (Rahayu & Fadirubun, 2025). Ekosistem ini menghadirkan interaksi kompleks antara faktor abiotik, seperti suhu pasir, salinitas, dan angin laut, dengan komponen biotik yang adaptif terhadap kondisi ekstrem pesisir. Kompleksitas interaksi ini berpotensi menjadi representasi autentik dalam menjelaskan konsep-konsep ekologi secara kontekstual dan aplikatif.

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis secara sistematis interaksi antar komponen ekosistem di Pantai Lombang sebagai dasar pengembangan sumber belajar IPA berbasis lingkungan. Kajian ini diharapkan dapat mengisi kesenjangan penelitian terkait pemanfaatan ekosistem lokal dalam mendukung implementasi deep learning pada Kurikulum Merdeka. Selain itu, hasil penelitian ini diharapkan dapat berkontribusi dalam pengembangan pembelajaran IPA yang tidak hanya meningkatkan pemahaman konseptual siswa, tetapi juga menumbuhkan kesadaran kritis terhadap isu lingkungan dan keberlanjutan.

2. METODOLOGI

2.1 Desain Penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan deskriptif kualitatif. Pendekatan ini merupakan metode untuk mengeksplorasi dan memahami fenomena secara mendalam melalui gambaran kompleks serta laporan terperinci dalam situasi yang alami (Creswell, 2014). Pendekatan ini dipilih untuk mendeskripsikan dan menganalisis fenomena interaksi antar komponen ekosistem pesisir secara alamiah tanpa manipulasi variabel. Fokus penelitian adalah mengkaji potensi interaksi tersebut sebagai sumber belajar IPA SMP pada materi ekosistem.

2.2 Lokasi Penelitian

Penelitian dilaksanakan di kawasan pesisir Pantai Lombang, Kabupaten Sumenep, Jawa Timur. Kawasan ini dipilih karena memiliki karakteristik ekosistem pantai dengan komponen biotik dan abiotik yang beragam serta menunjukkan berbagai bentuk interaksi ekologis yang relevan dengan materi pembelajaran IPA tingkat SMP.

2.3 Kerangka Metodologis

Kerangka metodologis penelitian ini meliputi tiga tahapan utama, yaitu:

1. Identifikasi Komponen Biotik dan Abiotik Ekosistem Pesisir,
2. Klasifikasi Bentuk Interaksi Antar Komponen Ekosistem (Biotik-Biotik dan Biotik-Abiotik)
3. Pemetaan Hasil Kajian Terhadap Capaian Pembelajaran Materi Ekosistem dalam Kurikulum IPA SMP.

2.4 Teknik Pengumpulan Data dan Penentuan Sampel

Data dikumpulkan melalui observasi langsung dan dokumentasi. Observasi dilakukan untuk mengidentifikasi komponen biotik seperti vegetasi pantai dan fauna pesisir, serta komponen abiotik seperti pasir, air laut, cahaya matahari, suhu, angin, dan gelombang. Dokumentasi berupa foto dan catatan lapangan digunakan untuk merekam kondisi ekosistem serta memperkuat deskripsi hasil observasi. Penentuan lokasi pengamatan dilakukan secara purposive sampling, yaitu memilih titik-titik area pesisir yang merepresentasikan variasi kondisi ekosistem pantai.

2.5 Teknik Analisis Data

Analisis data dilakukan secara kualitatif melalui tahapan reduksi data, penyajian data, dan penarikan kesimpulan. Data hasil observasi diidentifikasi dan diklasifikasikan berdasarkan jenis komponen ekosistem serta bentuk interaksi yang terjadi. Selanjutnya, hasil klasifikasi dipetakan dengan materi ekosistem dalam pembelajaran IPA SMP untuk menilai relevansinya sebagai sumber belajar kontekstual.

2.6 Keabsahan Data

Dalam penelitian kualitatif ini, objek material berupa fenomena interaksi antar komponen ekosistem pesisir yang diamati di lapangan, sedangkan objek formalnya adalah analisis potensi fenomena tersebut sebagai sumber belajar IPA SMP. Keabsahan data dilakukan dengan triangulasi sumber, yaitu membandingkan hasil observasi dan dokumentasi dengan literatur ilmiah yang relevan guna memastikan kesesuaian antara fenomena lapangan dan konsep ekologi yang berlaku.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Identifikasi Komponen Ekosistem

Pengamatan ekosistem di Pantai Lombang difokuskan pada area tegakan Cemara Udang (*Casuarina equisetifolia*) yang menjadi ciri khas vegetasi pesisir di wilayah ini. Ekosistem tersebut merupakan perpaduan antara ekosistem alami dan ekosistem binaan akibat aktivitas pariwisata. Secara struktural, ekosistem ini tersusun atas komponen biotik yang meliputi berbagai jenis flora, fauna, fungi, hingga peran manusia, serta komponen abiotik yang

mencakup faktor fisik lingkungan dan infrastruktur buatan. Inventarisasi komponen ini sangat penting untuk memahami bagaimana setiap elemen berkontribusi dalam menjaga stabilitas lingkungan pesisir. Berikut adalah rincian komponen biotik dan abiotik yang berhasil diidentifikasi:

3.1.1 Tabel Identifikasi Komponen Biotik

Komponen biotik pada ekosistem Pantai Lombang terdiri atas flora dan fauna yang memiliki kemampuan adaptasi spesifik terhadap kondisi pesisir, seperti salinitas tinggi, terpaan angin kencang, dan fluktuasi suhu. Secara dominan, vegetasi di area pengamatan dibentuk oleh tegakan Cemara Udang (*Casuarina equisetifolia*) yang memiliki fungsi ekologis krusial dalam memperkuat struktur tanah serta menahan abrasi (Firdausyah et al., 2021). Selain vegetasi alami, ekosistem ini juga dipengaruhi oleh aktivitas antropogenik yang menghadirkan komponen biotik tambahan melalui intervensi manusia. Adapun identifikasi komponen biotik di Pesisir Pantai Lombang dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Identifikasi Komponen Biotik

Foto Objek	Identifikasi & Karakteristik	Peran dalam Ekosistem
	Cemara Udang (<i>Casuarina equisetifolia</i>) Memiliki batang kayu yang besar dan bercabang banyak, kulit batang pecah-pecah/kasar, serta daun berbentuk jarum yang mereduksi penguapan. Akarnya terlihat kuat mencengkeram pasir.	Produsen Utama & Habitat: Menghasilkan oksigen melalui fotosintesis dan menyediakan tempat bernaung (habitat) bagi fauna seperti cecak, burung, dan serangga.
	Pohon Kelapa (<i>Cocos nucifera</i>) Memiliki batang tunggal yang tinggi dengan tajuk daun menyirip di bagian atas. Sangat adaptif terhadap kadar garam tinggi.	Produsen Utama: Menghasilkan energi melalui fotosintesis dan memperkuat struktur pasir dengan akar serabutnya.
	Cicak Pohon (<i>Hemidactylus</i> sp.) Memiliki kemampuan mimikri (warna tubuh coklat kelabu) yang sangat mirip dengan tekstur kulit batang Cemara Udang.	Konsumen: Berperan sebagai predator serangga kecil yang hidup di celah kulit kayu pohon.
	Undur-undur (<i>Myrmeleontidae</i>) Larva serangga yang hidup di pasir kering. Membuat lubang berbentuk corong (jebakan) yang sangat simetris.	Konsumen: Predator bagi semut atau serangga kecil lainnya yang tergelincir ke dalam jebakannya.

Foto Objek	Identifikasi & Karakteristik	Peran dalam Ekosistem
	Jamur Kayu (<i>Polyporaceae</i>) Berbentuk seperti kuping atau kipas yang keras dan kaku, menempel kuat pada batang Cemara Udang yang mulai melapuk.	Dekomposer (Pengurai): Mengurai lignin dan selulosa pada kayu mati menjadi nutrisi kembali ke tanah.
	Burung Berbagai jenis burung kecil yang sering hinggap di tajuk pohon Cemara Udang yang rimbun.	Konsumen: Berperan dalam penyebaran biji serta pengendali populasi serangga di area pantai.
	Kucing Hewan mamalia karnivora kecil yang sering berkeliaran di area wisata (faktor interaksi manusia).	Konsumen: Predator tingkat atas di area tersebut yang bisa memengaruhi populasi burung atau tikus.
	Kuda Hewan herbivora besar (sering digunakan untuk wisata). Memberikan pengaruh berupa kotoran ternak.	Konsumen & Pupuk Alami: Kotorannya dapat menambah unsur hara organik pada media pasir yang miskin nutrisi.
	Tanaman Herba Tanaman rendah merambat (seperti Tapak Kuda) yang menutupi sebagian permukaan pasir.	Produsen & Penahan Erosi: Menjaga kelembapan permukaan pasir dan menahan pergerakan pasir akibat angin.
	Manusia (<i>Homo sapiens</i>) Makhluk hidup dengan tingkat intelegensi tinggi yang melakukan aktivitas di dalam ekosistem (wisatawan, pengelola, pedagang).	Faktor Antropogenik: Sebagai pengubah tatanan lingkungan, baik melalui pembangunan sarana (gazebo), pemberian pakan pada fauna (kucing), maupun pengelolaan sampah.

Berdasarkan hasil inventarisasi pada tabel di atas, terlihat bahwa keanekaragaman flora di Pantai Lombang tidak hanya terbatas pada Cemara Udang, tetapi juga meliputi Pohon Kelapa (*Cocos nucifera*) dan tanaman herba merambat seperti Tapak Kuda (*Ipomoea pes-caprae*) yang berfungsi sebagai pengikat sedimen pasir. Interaksi fungsional juga ditunjukkan oleh kehadiran berbagai fauna seperti undur-undur (*Myrmeleontidae*), serangga, dan cicak pohon (*Hemidactylus sp.*) yang memanfaatkan mikroklimat sejuk di bawah naungan tajuk pohon (Aslamiah & Sari, 2025). Selain itu, keberadaan fungi pada batang kayu lapuk mempertegas

adanya siklus nutrisi yang berjalan melalui peran dekomposer (Zhou *et al.*, 2025). Kehadiran manusia, kuda, dan kucing di lokasi pengamatan menandakan bahwa Pantai Lombang telah berkembang menjadi ekosistem wisata yang dinamis.

3.1.2 Tabel Identifikasi Komponen Abiotik

Komponen abiotik di Pantai Lombang membentuk karakteristik habitat yang dinamis melalui interaksi faktor fisik dan kimiawi. Lingkungan pesisir ini dikenal sebagai ekosistem ekstrem karena adanya pergerakan sedimen secara terus-menerus yang didorong oleh aktivitas gelombang dan angin (Abubakar *et al.*, 2024). Dinamika fisik ini menciptakan tekanan lingkungan yang menentukan pola distribusi serta adaptasi organisme yang hidup di dalamnya. Secara keseluruhan, faktor abiotik berperan sebagai pembentuk struktur utama ekosistem pantai berpasir dan gumpuk pasir (*coastal dunes*). Adapun identifikasi komponen abiotik di Pantai Lombang dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Identifikasi Komponen Abiotik

Foto Objek	Identifikasi & Karakteristik	Peran dalam Ekosistem
	Air Laut, Cahaya, Suhu & Udara Faktor fisik dasar pesisir. Cahaya matahari kuat, udara mengandung uap garam (salinitas), dan suhu udara yang tinggi.	Sumber energi utama (cahaya) dan penentu jenis makhluk hidup yang mampu bertahan di lingkungan ekstrem.
	Pasir Substrat utama berupa butiran mineral halus yang bersifat porus (cepat menyerap air).	Media tumbuh akar tanaman dan tempat tinggal fauna tanah seperti undur-undur.
	Keteduhan (Mikroklimat) Area dengan intensitas cahaya rendah yang terbentuk di bawah tajuk pohon cemara atau bangunan.	Menjaga kelembapan pasir dan menjadi tempat berlindung bagi fauna agar tidak terkena stres panas.
	Batu & Daun Kering (Serasah) Material padat alami yang menutupi permukaan lantai hutan.	Melindungi permukaan pasir dari penguapan berlebih dan menjadi sumber nutrisi jika sudah terurai.

Foto Objek	Identifikasi & Karakteristik	Peran dalam Ekosistem
	Beton Tanggul yang Retak Struktur bangunan semen yang sudah mengalami pelapukan.	Menahan abrasi air laut, namun retakannya bisa menjadi tempat persembunyian fauna kecil atau tumbuhnya lumut.
	Sampah Organik & Plastik Material sisa aktivitas manusia (daun keringampur plastik).	Sampah organik bisa menjadi hara, namun plastik menjadi polutan yang mengganggu estetika dan kesehatan tanah.
	Lampu Tenaga Surya Teknologi buatan manusia untuk pencahayaan malam hari menggunakan energi matahari.	Mengubah kondisi cahaya saat malam hari (polusi cahaya) yang dapat memengaruhi perilaku hewan nokturnal.
	Plang Kayu di Pohon Papan informasi wisata yang dipasang langsung pada batang pohon dengan paku.	Sebagai media komunikasi manusia, namun secara biotik melukai kulit pohon yang bisa mengundang infeksi jamur/bakteri.
	Bangunan/Mainan Wisata Struktur beton dan besi permanen untuk fasilitas hiburan pengunjung.	Mengubah luas area alami menjadi area buatan dan membatasi ruang tumbuh vegetasi asli.

Hasil pengamatan menunjukkan bahwa komponen abiotik di Pantai Lombang terdiri dari perpaduan faktor alami dan elemen buatan. Parameter alami seperti substrat pasir, intensitas cahaya matahari yang tinggi, dan suhu udara yang panas diredam oleh keberadaan tegakan cemara yang menciptakan zona keteduhan. Namun, ditemukan pula modifikasi lingkungan yang signifikan berupa infrastruktur wisata seperti beton tanggul, gazebo, dan lampu tenaga surya. Penemuan sampah plastik dan pemasangan plang kayu pada batang pohon menjadi indikasi adanya tekanan antropogenik terhadap stabilitas lingkungan. Sebagaimana dijelaskan oleh White *et al* (2024), interaksi antara faktor fisik yang ekstrem dan intervensi manusia ini membentuk karakteristik ekologi Pantai Lombang yang stabil namun memiliki tantangan dalam menjaga keasrian lingkungan alaminya.

3.2 Analisis Interaksi Antar Komponen Ekosistem Pantai Lembang

Interaksi dalam ekosistem Pantai Lembang membentuk jaring-jaring hubungan yang kompleks, di mana komponen biotik dan abiotik saling memengaruhi secara dinamis. Pantai Lembang memiliki karakteristik ekologi khas pantai berpasir yang dipengaruhi oleh aktivitas gelombang, angin, dan pergerakan sedimen (Firdausyah *et al.*, 2021). Interaksi antara faktor abiotik yang ekstrem dan komponen biotik yang adaptif menghasilkan ekosistem pesisir yang stabil, meskipun memiliki keanekaragaman spesies yang relatif terbatas (Sukuryadi *et al.*, 2024).

3.2.1 Interaksi Antar-Komponen Biotik

Interaksi kompetisi terjadi antarorganisme yang memanfaatkan sumber daya terbatas seperti ruang, nutrisi, dan cahaya. Vegetasi dominan seperti pohon cemara udang, pohon kelapa, dan tumbuhan adaptif lainnya seperti Tapak Kuda berkompetisi dalam memperoleh unsur hara pada substrat berpasir yang sedikit nutrisi. Di sisi fauna, interaksi predasi terlihat jelas pada hubungan antara Cicak Pohon (*Hemidactylus sp.*) dengan serangga kecil yang hidup di celah kulit kayu cemara. Sebagai predator, cicak pohon membantu mengontrol populasi serangga, menjaga keseimbangan komunitas di habitat vegetasi pantai (Hernawati & Chaidir, 2020). Pola ini didukung oleh kehadiran berbagai jenis burung yang memanfaatkan rimbunya daun cemara sebagai tempat bersarang sekaligus area berburu. Adapun dokumentasi menunjukkan fauna predator yang memanfaatkan struktur batang pohon sebagai habitat dan area perburuan mangsa dapat dilihat pada gambar 1.



Gambar 1: Cicak Pohon pada Batang Cemara

Selain predasi, hubungan simbiosis mutualisme tidak langsung ditemukan pada interaksi antara vegetasi dengan fungi. Fungi yang menempel pada batang Cemara Udang berperan sebagai dekomposer yang mereduksi bahan organik kompleks menjadi nutrisi sederhana (Zhou *et al.*, 2025). Tumbuhan menyediakan sumber bahan organik melalui serasah daun, sementara fungi meningkatkan ketersediaan unsur hara di lingkungan substrat (Dewi *et al.*, 2020).

Simbiosis tumbuhan pantai lembang pada Fungi yang berperan sebagai dekomposer yang menguraikan bahan organik menjadi nutrisi sederhana yang kemudian dapat dimanfaatkan oleh tumbuhan seperti cemara laut (Dewi *et al.*, 2020). Hubungan ini bersifat mutualistik secara tidak langsung karena tumbuhan menyediakan sumber bahan organik melalui serasah daun, sementara fungi meningkatkan ketersediaan unsur hara di lingkungan. Selain itu, keberadaan ganggang hijau sebagai produsen primer juga mendukung organisme lain dalam jaring makanan melalui hubungan trofik yang saling menguntungkan (Emelda *et*

al., 2021). Dengan demikian, interaksi kompetisi, predasi, dan simbiosis antar komponen biotik menunjukkan bahwa ekosistem Pantai Lembang tidak hanya dibentuk oleh adaptasi terhadap faktor abiotik, tetapi juga oleh hubungan ekologis antarorganisme yang saling memengaruhi keberlangsungan hidup satu sama lain. Jamur kayu bertindak sebagai dekomposer yang mengembalikan nutrisi organik ke substrat pasir Pantai Lembang dapat dilihat pada gambar 2.



Gambar 2. Jamur Kayu pada Batang Cemara

3.2.2 Interaksi Biotik dengan Abiotik

Hubungan timbal balik antara suhu, kelembapan, angin, dan cahaya membentuk kondisi fisik lingkungan pantai yang dinamis. Paparan cahaya matahari meningkatkan suhu permukaan pasir sehingga menurunkan kelembapan tanah (Harjadi, 2017). Kondisi substrat yang kering dan panas ini memengaruhi tingkat penguapan dan salinitas di zona intertidal (Ashila *et al*, 2022). Sebaliknya, vegetasi Cemara Udang memberikan fungsi ekologis penting dengan menyediakan keteduhan (mikroklimat) yang lebih sejuk. Area di bawah naungan ini menjadi habitat krusial bagi Undur-undur (*Myrmeleontidae*) untuk membangun lubang jebakan pada pasir yang kering namun terlindung dari suhu ekstrem. Interaksi antara undur-undur di dalam pasir dapat dilihat pada gambar 3.



Gambar 3. Undur-undur di dalam Pasir

3.2.3 Interaksi Antropogenik dan Konservasi

Aktivitas manusia sebagai bagian dari komponen biotik membawa pengaruh ganda. Upaya konservasi terlihat dari pembangunan tanggul beton untuk mengurangi dampak abrasi dan kerusakan pesisir (Alifiyah *et al.*, 2024). Namun, tekanan antropogenik juga ditemukan berupa sampah plastik dan pemasangan plang wisata yang dipaku pada pohon, yang berpotensi merusak jaringan kayu dan mengundang infeksi patogen pada pohon. Pembangunan infrastruktur sebagai bentuk adaptasi manusia dalam melindungi ekosistem darat dari energi gelombang laut dapat dilihat pada gambar 4.



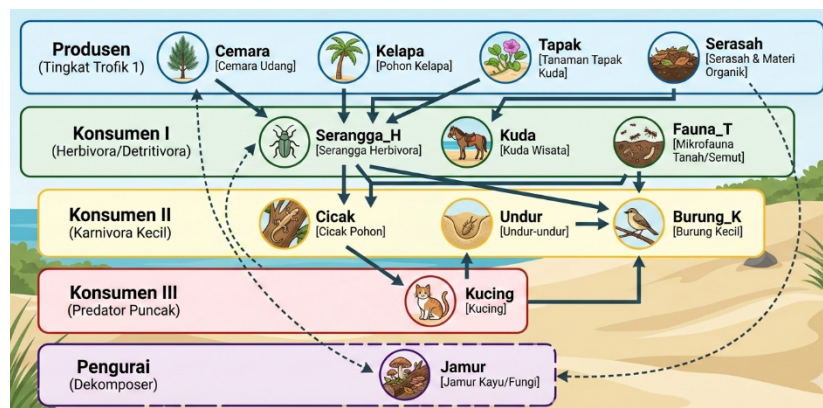
Gambar 4: Tanggul Beton

3.2.4 Aliran Energi dan Jaring-Jaring Makanan

Aliran energi di ekosistem Pantai Lombang dimulai dari proses fotosintesis oleh komponen produsen yang mampu mengonversi energi matahari menjadi energi kimia. Berdasarkan pengamatan kontekstual di lapangan, peran produsen utama dijalankan oleh vegetasi adaptif seperti Cemara Udang (*Casuarina equisetifolia*), Pohon Kelapa (*Cocos nucifera*), dan tanaman herba merambat yakni Tapak Kuda (*Ipomoea pes-caprae*). Sebagai dasar dari piramida energi, keberadaan vegetasi ini menentukan kelangsungan hidup tingkatan trofik di atasnya (Faizzah, 2023).

Energi kemudian mengalir ke tingkat Konsumen I (Herbivora), yang diwakili oleh serangga-serangga kecil penghuni tajuk pohon serta hewan besar seperti Kuda yang mengonsumsi tanaman herba di permukaan pasir. Pada tingkat berikutnya, Konsumen II (Karnivora Kecil) yang terdiri dari Cicak Pohon, Undur-undur, dan burung-burung kecil, memperoleh energi dengan memangsa konsumen pertama. Sebagai contoh spesifik, Undur-undur (*Myrmeleontidae*) berperan sebagai predator spesialis serangga tanah yang terperangkap dalam substrat pasir, sementara Cicak Pohon berburu serangga yang berada di celah kulit kayu cemara.

Puncak dari aliran energi di area wisata Pantai Lombang ditempati oleh Konsumen III (Predator Puncak) seperti Kucing, yang memangsa burung atau tikus kecil. Penting untuk dicatat bahwa peran manusia secara tidak langsung memengaruhi struktur ini melalui penyediaan sisa makanan yang mengubah perilaku konsumsi fauna lokal. Seluruh siklus ini ditutup oleh peran Pengurai (Dekomposer) berupa Jamur Kayu (*Fungi*) yang menguraikan sisa organisme mati kembali menjadi nutrisi bagi tanah, sehingga mendukung keberlanjutan siklus nutrisi di ekosistem pesisir. Adapun jaring-jaring makanan yang terjadi di Pantai Lombang dapat dilihat pada gambar 5.



Gambar 5. Jaring-Jaring Makanan di Pantai Lombang

3.3 Relevansi terhadap Materi IPA SMP (Fase D)

3.3.1 Analisis Capaian Pembelajaran (CP) dan Konteks Kurikulum

Berdasarkan Capaian Pembelajaran (CP) IPA Fase D (Kurikulum Merdeka), pada elemen Makhluk Hidup dan Lingkungannya, peserta didik diharapkan mampu menganalisis interaksi antar makhluk hidup dan lingkungannya serta merancang upaya mitigasi pencemaran lingkungan. Hasil observasi di Pantai Lombang menunjukkan relevansi yang sangat kuat terhadap kompetensi tersebut. Pantai Lombang bukan sekadar objek wisata, melainkan Laboratorium Alam Kontemporer yang menyediakan representasi nyata dari konsep ekologi yang sering kali bersifat abstrak di dalam buku teks.

Pengamatan di lapangan memberikan bukti otentik bagi siswa untuk mengidentifikasi komponen biotik dan abiotik secara langsung. Interaksi yang ditemukan, seperti predasi cicak terhadap serangga, simbiosis dekomposisi oleh fungi, serta adaptasi morfologi cemara udang. Hasil identifikasi ini sesuai dengan materi inti pada tingkat kelas VII SMP. Hal ini memungkinkan terjadinya transisi dari pembelajaran berbasis hafalan menuju pembelajaran berbasis fenomena (*Phenomenon-Based Learning*).

3.3.2 Pemetaan Temuan Lapangan terhadap Konsep IPA

Berikut adalah tabel integrasi hasil observasi dengan konsep materi IPA SMP dapat dilihat pada tabel 3.

Tabel 3. Matriks Relevansi Temuan Ekosistem Pantai Lombang

Temuan Lapangan	Konsep IPA (Materi)	Potensi Aktivitas Pembelajaran (Inkuiri)
 Zonasi Pesisir (Air & Darat)	Komponen Ekosistem	Memetakan interaksi antara faktor abiotik (salinitas, pasir) terhadap sebaran makhluk hidup.
 Struktur Cemara Udang (Daun Jarum)	Adaptasi Makhluk Hidup	Menyelidiki hubungan struktur daun dengan pengurangan laju penguapan di lingkungan panas.
 Lubang Jebakan Undur-undur	Interaksi Komponen (Biotik-Abiotik)	Menganalisis pemilihan habitat (mikroklimat) berdasarkan tekstur dan kelembapan pasir.

Temuan Lapangan	Konsep IPA (Materi)	Potensi Aktivitas Pembelajaran (Inkuiri)
 Jamur Kayu (Dekomposer)	Siklus Nutrisi	Mengobservasi proses penguraian materi organik mati menjadi hara tanah (Siklus Materi).
 Pembakaran Sampah	Pencemaran Lingkungan	Menguji perbedaan tekstur pasir bekas pembakaran dengan pasir alami, lalu merancang sistem kelola sampah pantai.
 Paku Pohon	Dampak Antropogenik	Menganalisis pengaruh aktivitas manusia terhadap kesehatan pohon dan stabilitas ekosistem.

3.3.3 Implementasi Pembelajaran Mendalam (*Deep Learning*)

Pemanfaatan ekosistem Pantai Lombang diintegrasikan dengan pendekatan *Deep Learning* untuk mencapai kualitas pembelajaran yang optimal. Strategi ini memastikan bahwa siswa tidak hanya menyerap informasi secara pasif, tetapi juga mengalami transformasi kesadaran terhadap lingkungan (Hariani, 2024).

Tabel 4. Matriks Implementasi *Deep Learning* di Pantai Lombang

Dimensi	Fokus Aktivitas	Nilai Filosofis
<i>Meaningful</i> (Bermakna)	Pengamatan struktur akar Cemara Udang yang mencengkeram pasir sebagai Sabuk Hijau.	Memahami bahwa menjaga vegetasi adalah upaya menjaga ruang hidup manusia dari abrasi.
<i>Mindful</i> (Sadar)	Observasi detail pada lubang jebakan undur-undur dan pergerakan semut di pasir.	Menumbuhkan kepekaan dan rasa hormat terhadap kerumitan interaksi makhluk hidup terkecil.
<i>Joyful</i> (Senang)	Eksplorasi mandiri mencari jejak interaksi (predasi/simbiosis) di batang pohon dan bibir pantai.	Menciptakan kegembiraan intelektual (<i>intellectual joy</i>) dan menghilangkan kejenuhan akademik.

Penerapan ketiga dimensi di atas menciptakan suasana belajar yang rileks namun tetap terarah, yang terbukti mampu meningkatkan daya serap memori jangka panjang terhadap konsep-konsep ekologi. Melalui *meaningful learning*, siswa tidak lagi sekadar menghafal definisi abrasi, melainkan melihat fungsi mekanis akar sebagai benteng alam. Sementara itu, pendekatan *mindful* dan *joyful* menggeser paradigma belajar dari beban kognitif menjadi sebuah petualangan ilmiah yang menyenangkan di laboratorium alam Pantai Lombang.

3.1.4 Penguatan Profil Pelajar Pancasila

Melalui relevansi materi ini, siswa tidak hanya cerdas secara kognitif, tetapi juga menguatkan karakter Profil Pelajar Pancasila.

Tabel 4. Matriks Implementasi Profil Pelajar Pancasila di Pantai Lembang

Dimensi Profil Pelajar Pancasila	Indikator Perilaku / Tindakan Nyata di Lapangan	Analisis Kedalaman Karakter
Bernalar Kritis	Mengevaluasi efektivitas pembangunan tanggul beton dibandingkan peran alami vegetasi (<i>Casuarina</i>) dalam mitigasi abrasi.	Siswa mampu membandingkan solusi teknis (buatan) dengan solusi berbasis alam (<i>nature-based solutions</i>).
Beriman, Bertakwa kepada Tuhan YME, & Berakhlak Mulia	Menunjukkan etika lingkungan dengan tidak melukai kulit pohon (memaku plang) serta tidak membuang atau membakar sampah di area konservasi.	Menumbuhkan rasa tanggung jawab moral terhadap ciptaan Tuhan melalui aksi nyata menjaga kelestarian biotik dan abiotik.
Gotong Royong	Bekerja sama dalam tim untuk memetakan jaring-jaring makanan dan merumuskan solusi kolaboratif atas masalah pencemaran pantai.	Melatih kemampuan komunikasi dan koordinasi dalam menyelesaikan masalah lingkungan yang kompleks secara kolektif.

3.4 Implikasi sebagai Sumber Belajar Kontekstual

3.4.1 Analisis Nilai Kontekstual dalam Pembelajaran IPA

Penggunaan kajian interaksi pada ekosistem Pantai Lembang sebagai sumber belajar IPA pada tingkat SMP mendukung model pembelajaran yang bersifat kontekstual (*Contextual Teaching and Learning*). Melalui pendekatan ini, siswa dimudahkan dalam memahami materi ekosistem yang sering kali dianggap abstrak. Hal ini selaras dengan teori dari Johnson yang menyatakan bahwa pembelajaran kontekstual membantu siswa melihat bahwa materi yang dipelajari menjadi lebih bermakna karena dikaitkan dengan kehidupan nyata di lingkungan sekitar (Kadir, 2013).

Selain itu, implementasi di Pantai Lembang tidak hanya bertujuan untuk meningkatkan pemahaman konsep, tetapi juga mengasah keterampilan abad ke-21, yaitu berpikir kritis, kolaboratif, dan reflektif. Sebagaimana dinyatakan oleh Nasution (2024), penerapan pembelajaran kontekstual secara signifikan dapat meningkatkan kemampuan berpikir tingkat tinggi (*Higher Order Thinking Skills*) siswa karena mereka dihadapkan langsung pada fenomena lingkungan yang kompleks dan dinamis.

3.4.2 Eksplorasi Pembelajaran Berbasis Pengalaman (*Outdoor Learning*)

Kegiatan pembelajaran yang dilakukan di luar kelas (*outdoor learning*) di Pantai Lembang merupakan wujud nyata dari teori John Dewey yang menekankan bahwa pengalaman langsung dan menyatu dengan alam adalah komponen vital dalam program pendidikan (Rahimawati *et al.*, 2024). Di sini, siswa bertransformasi dari sekadar pendengar pasif menjadi peneliti aktif yang mengobservasi, menyentuh substrat pasir, serta mencatat berbagai fenomena biologis yang ditemui secara langsung di lapangan.

Proses transformasi pengetahuan ini terjadi melalui sebuah siklus pengalaman yang holistik. Tahap pertama dimulai dari Pengalaman Konkret, di mana siswa menjumpai langsung komponen biotik dan abiotik di pesisir, seperti tekstur daun cemara atau panasnya substrat pasir. Pengalaman fisik ini kemudian berlanjut pada tahap Observasi Reflektif, di

mana siswa mulai merenungkan hubungan antar komponen tersebut, misalnya mengapa vegetasi tertentu hanya tumbuh di zona yang jauh dari jangkauan ombak.

Selanjutnya, siswa memasuki tahap Konseptualisasi, di mana mereka mulai menarik benang merah antara temuan lapangan dengan teori ekologi yang dipelajari di kelas, mengubah pemahaman yang tadinya abstrak menjadi konsep yang logis dan nyata. Alur ini diakhiri dengan Aksi dan Eksperimen Aktif, di mana rasa ingin tahu yang terpicu oleh fenomena alam, seperti lubang undur-undur atau dampak paku pada pohon yang mendorong siswa untuk merumuskan solusi pemecahan masalah secara mandiri. Melalui narasi pembelajaran yang sirkular ini, dimensi kognitif, afektif, dan psikomotorik siswa menyatu dalam satu kesatuan pengalaman belajar yang utuh dan mendalam (Mandessy & Sentono, 2025).

3.4.3 Keunggulan Strategis dan Peluang Berbasis Lingkungan

Pembelajaran di dalam kelas cenderung terbatas karena hanya berpatokan pada buku, gambar, atau video yang tidak meningkatkan interaksi siswa secara langsung. Sebaliknya, pembelajaran di Pantai Lombang memberikan pengalaman multisensori yang meningkatkan pemahaman mendalam. Rasa ingin tahu siswa yang muncul saat berada di lapangan akan mendorong kemampuan berpikir kritis yang lebih tajam dibandingkan hanya belajar di dalam ruang kelas (Waode, 2023).

Berdasarkan analisis di atas, kegiatan berbasis lingkungan di Pantai Lombang membuka peluang besar untuk mengembangkan pendidikan yang relevan dengan tantangan zaman. Pantai Lombang tidak lagi hanya dipandang sebagai tempat wisata, tetapi sebagai Laboratorium Alam yang memiliki rantai ekosistem kompleks. Dengan struktur pembelajaran yang tepat, siswa tidak hanya mengenal definisi sebuah teori, namun benar-benar memahami dan mencintai lingkungan di sekitarnya sebagai bagian dari tanggung jawab moral mereka sebagai generasi penerus.

4. KESIMPULAN

Ekosistem Pantai Lombang sebagai sebuah laboratorium alam yang sangat dinamis dengan karakteristik zonasi vegetasi yang jelas, didominasi oleh spesies adaptif seperti *Casuarina equisetifolia* (Cemara Udang). Interaksi antar komponen biotik dan abiotik di wilayah ini membentuk sebuah keseimbangan ekologis yang kompleks, di mana aliran energi bergerak secara sistematis dari produsen vegetasi pantai menuju berbagai tingkat konsumen hingga berakhir pada peran vital dekomposer seperti jamur kayu. Namun, keberlangsungan ekosistem ini menghadapi tantangan serius akibat dampak antropogenik, terutama praktik pembakaran sampah secara terbuka dan pemasangan paku pada batang pohon yang secara langsung merusak jaringan transportasi tumbuhan serta mengganggu mikrobiota tanah.

Pantai Lombang memiliki implikasi yang sangat kuat sebagai sumber belajar kontekstual untuk materi IPA SMP Fase D. Melalui pendekatan *Outdoor Learning* dan *Experiential Learning*, fenomena nyata di pesisir ini mampu mentransformasi pemahaman konsep ekosistem yang tadinya bersifat abstrak menjadi sebuah pengalaman belajar yang bermakna (*meaningful*), penuh kesadaran (*mindful*), dan menyenangkan (*joyful*). Implementasi pembelajaran berbasis lingkungan ini tidak hanya meningkatkan literasi sains siswa, tetapi juga menjadi sarana efektif dalam menginternalisasi nilai-nilai Profil Pelajar Pancasila, khususnya dalam menumbuhkan nalar kritis dan akhlak mulia terhadap alam semesta.

REFERENSI

- Abubakar, S., Rivai, A. A., Fadel, A. H., Paluphi, R. W., Widhi, R. N., Abubakar, Y., & Ismail, F. (2024). Pengelolaan Ekosistem Pesisir dan Laut. Kamiya Jaya Aquatic.
- Alifiyah, F. L. N., Tamam, B., Wulandari, A. Y. R., & Putera, D. B. R. A. (2024). Eksplorasi Wisata Pantai Slopeng Sebagai Sumber Belajar Ipa Materi Ekologi dan Keanekaragaman Hayati Indonesia. *Jurnal Tadris Ipa Indonesia*, 4(1), 52-64. [Http://Ejournal.iainponorogo.Ac.Id/Index.Php/Jtii](http://ejournal.iainponorogo.ac.id/index.php/jtii)
- Alisani, M., Lette, L. I., & Koroy, S. (2022). Karakteristik Morfologi Pohon Cemara Laut (Casuarina Equisetifolia). *JBES: Journal of Biology Education and Science*, 2(2). [Https://Jurnal.Stkipkieraha.Ac.Id/Index.Php/Jbes](https://jurnal.stkipkieraha.ac.id/index.php/jbes)
- Ashilah, A. A., Wirasatriya, A., & Handoyo, G. (2022). Analisis Dampak Perubahan Cuaca Terhadap Kualitas dan Produksi Garam di Kabupaten Rembang. *Indonesian Journal of Oceanography*, 4(2), 68-76. [Https://Doi.Org/10.14710/Ijoce.V4i2.14006](https://doi.org/10.14710/Ijoce.V4i2.14006)
- Aslamiah, T., & Sari, S. M. (2025). Analisis Ekosistem Laut: Pemanfaatan Hutan Mangrove Sebagai Habitat untuk Organisme Laut. *Edu Society: Jurnal Pendidikan, Ilmu Sosial, Dan Pengabdian Kepada Masyarakat*, 5(2), 1350-1355. [Https://Jurnal.Permapendis-Sumut.Org/Index.Php/Edusociety](https://jurnal.permapendis-sumut.org/index.php/edusociety)
- Bolick, M. A., Thomassen, M., Aplan, J., Spencer, O., Nicole, F., Tran, S. K. N., ... & Lazar, K. B. (2024). Project-based learning in interdisciplinary spaces: A case study in Norway and the United States. *Education Sciences*, 14(8), 866.
- BPS Kabupaten Sumenep. (2025). *Kabupaten Sumenep Dalam Angka 2025*. Badan Pusat Statistik Kabupaten Sumenep.
- Cahyani, D., Aziz, A., & Adiliyah, L. (2025). *Studi Lingkungan Tentang Pengelolaan Ekowisata*. Pt Atha Publishing Globaindo.
- Creswell, J. W. (2014). *Research Design: Qualitative, Quantitative, and Mixed Methods Approaches* (4th Ed.). Sage Publications.
- Dewi, P. K., Rossiana, N., & Indrawati, I. (2020). Diversitas Mikrofungi Zona Intertidal dan Subtidal Pantai Barat Pananjung Pangandaran. *Jurnal Agrinika*, 4(1), 15-22.
- Emelda, Safitri, E. A., & Fatmawati, A. (2021). Aktivitas Inhibisi Ekstrak Etanolik Ulva Lactuca Terhadap Bakteri Staphylococcus Aureus. *Pharmaceutical Journal of Indonesia*, 7(1), 43-48.
- Engels, M., Miller, B., Squires, A., Jennewein, J. S., & Eitel, K. (2019). The Confluence Approach: Developing Scientific Literacy Through Project-Based Learning and Place-Based Education in The Context of Ngss. *Electronic Journal Of Science Education*, 23(3).
- Faizzah, F. (2023). Penerapan Pembelajaran Model Group Investigation untuk Meningkatkan Hasil Belajar Siswa Mata Pelajaran Ilmu Pengetahuan Alam (IPA) Materi Ekosistem Kelas Vii.2 Di Smp Negeri 8 Pekanbaru. *Diklat Review*, 7(2). [https://Doi.Org/10.35446/Diklatreview.V7i2.1533](https://doi.org/10.35446/Diklatreview.V7i2.1533)
- Firdausyah, I., Setiawan, B., & Tjahjono, A. (2021). Analisis Keberlanjutan Wisata Pantai Lombang Di Kecamatan Batang-Batang, Kabupaten Sumenep, Madura, Jawa Timur. *Ecsofim: Journal of Economic and Social of Fisheries and Marine*, 8(2), 239-252. [Http://Dx.Doi.Org/10.21776/Ub.Ecsofim.2021.008.02.07](http://dx.doi.org/10.21776/Ub.Ecsofim.2021.008.02.07)
- Firdaus, T., Listiawan, L., Dewanto, R., & Winedar, I. R. (2024). Orbital Eccentricity Study of Planets: A Comparative Analysis of Manual Simulation and Digital Visualization. *Eğitimde Kuram ve Uygulama*, 21(2), 129-141. <https://doi.org/10.17244/eku.1595205>

- Firdaus, T. (2025). Research and Trends of Socio-Scientific Issues in Natural Science Education: Bibliometric and Content Analysis Based on Systematic Literature Review. *Journal of Progressive Science Education*, 1(1), 1-18.
- Firdaus, T., & Nurohman, S. (2025, September). The Role of Artificial Intelligence in Science Education: Enhancing Student Engagement and Preparing the Foundations for Future Education through Digital Literacy. In *2025 International Workshop on Artificial Intelligence and Education (WAIE)* (pp. 181-185). IEEE. <https://doi.org/10.1109/WAIE67422.2025.11381299>
- Gulo, F. D. (2025). Ekosistem Perairan Payau di Pantai Charlita Desa Afia, Gunungsitoli Utara. *Peraut: Jurnal Perikanan Dan Kelautan*, 2(1), 101.
- Hariani, R. (2024). Pengembangan Materi Ajar Berbasis Ekowisata Mangrove dalam Pembelajaran Ipa: Review. *Panthera: Jurnal Ilmiah Pendidikan Sains dan Terapan*, 4(3), 121-128.
- Harjadi, B. (2017). Peran Cemara Laut (*Casuarina Equisetifolia*) dalam Perbaikan Iklim Mikro Lahan Pantai Berpasir di Kebumen. *Jurnal Penelitian Pengelolaan Daerah Aliran Sungai*, 1(2), 73-81. <https://doi.org/10.20886/Jppdas.2017.1.2.73-81>
- Hernawati, D., & Chaidir, D. M. (2020). *Reptilia Tasikmalaya & Sekitarnya*. Tasikmalaya : Edu Publisher.
- Ilhamdi, M. L. (2012). Keanekaragaman Serangga dalam Tanah di Pantai Endok Lombok Barat. *Jurnal Pijar Mipa*, 7(2). <https://doi.org/10.29303/Jpm.V7i2.95>
- Judijanto, L., Abdullah, G., Asshagab, S. M., Darwis, R., Setyaningrum, S., Wiliyanti, V., ... & Busra, S. (2025). *Pembelajaran Ipa: Teori Dan Praktik*. Pt. Sonpedia Publishing Indonesia.
- Kadir, A. (2013). Konsep pembelajaran kontekstual di sekolah. *Dinamika ilmu*, 13(1).
- Kemendikbudristek. (2022). *Peraturan Menteri Pendidikan, Kebudayaan, Riset, dan Teknologi Republik Indonesia Nomor 16 Tahun 2022 Tentang Standar Proses pada Pendidikan Anak Usia Dini, Jenjang Pendidikan Dasar, dan Jenjang Pendidikan Menengah*.
- Kementerian Pendidikan Dasar Dan Menengah. (2025). *Naskah Akademik Pembelajaran Mendalam: Menuju Pendidikan Bermutu Untuk Semua*. Badan Standar, Kurikulum, dan Asesmen Pendidikan.
- Kuo, M., Barnes, M., & Jordan, C. (2019). Do Experiences with Nature Promote Learning? Converging Evidence of A Cause-and-Effect Relationship. *Frontiers In Psychology*, 10, 305.
- Mandessy, N., & Sentono, T. (2025). Peningkatan Kompetensi Kognitif, Afektif, dan Psikomotor Siswa Melalui Metode Memory Mnemonic pada Mata Pelajaran Pendidikan Kewarganegaraan. *Jurnal Sosialita*, 20(2), 102-110.
- Martek, I., Hosseini, M. R., Durdyev, S., Arashpour, M., & Edwards, D. J. (2022). Are university "living labs" able to deliver sustainable outcomes? A case-based appraisal of Deakin University, Australia. *International Journal of Sustainability in Higher Education*, 23(6), 1332-1348.
- Nasution, J. E. (2024). Perencanaan Pembelajaran PAI Berbasis Higher Order Thinking Skills (HOTS) di Era Society 5.0: Strategi dan Implementasi. *Al-Ihda': Jurnal Pendidikan dan Pemikiran*, 19(2), 1632-1641.
- Nichols, J. B., Howson, P. H., Mulrey, B. C., Ackerman, A., & Gately, S. E. (2016). The promise of place: Using place-based education principles to enhance learning. *The International Journal of Pedagogy and Curriculum*, 23(2), 27.

- Nikolidakis, S., & Kosmas, P. (2026). Digital Technologies for Project-Based Learning in Distance Education: Developing Students' Critical Thinking and Collaboration Skills. In *Project-Based Learning, Competency-Based Assessments, and Experiential Education for Modern Learners* (pp. 367-386). IGI Global Scientific Publishing.
- Nurfadillah, N., Rusydi, I., & Hasfiandi, H. (2023). Study of Trophic Interactions of Green Mussels (*Perna Viridis*) as Bioremediation of Waste for Cultivation of Windu Shrimp (*Penaeus Monodon*) in Gampong Alue Naga, Banda Aceh: Application Of Imta System (Integrated Multi-Trophic Aquaculture). *Iop Conference Series: Earth And Environmental Science*, 1221(1), 012047. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1221>
- OECD. (2023). *Pisa 2025 Science Strategic Plan And Framework*. OECD Publishing. <https://www.oecd.org/pisa/publications/pisa-2025-science-framework.htm>
- Rachman, H. A., & Hidayah, Z. (2025). Geospatial modelling of coastal exposure index along the Madura Strait. In *BIO Web of Conferences* (Vol. 168, p. 05013). EDP Sciences.
- Rahimawati, R., Wahyuni, S., & Muliana, M. (2024). Pembelajaran outdoor learning berbantuan lingkungan sekitar sekolah. *Journal of Education Research*, 5(4), 5868-5873.
- Rahayu, K., & Fadirubun, F. F. (2025). Analisis Daya Dukung dan Strategi Pengembangan Pariwisata Pantai Lombang Kecamatan Batang-Batang Kabupaten Sumenep: Analisis Daya Dukung dan Strategi Pengembangan Pariwisata Pantai Lombang Kecamatan Batang-Batang Kabupaten Sumenep. *Swara Bhumi*, 1(1).
- Sukuryadi, S., Johari, H. I., & Wijaya, A. (2024). Strategi Restorasi Ekosistem Mangrove di Kawasan Desa Lembar Kabupaten Lombok Barat. *Jurnal Ilmu Lingkungan*, 22(6), 1455-1465.
- Tang, K. S. (2024). Informing research on generative artificial intelligence from a language and literacy perspective: A meta-synthesis of studies in science education. *Science Education*, 108(5), 1329-1355.
- Waode, S. S. (2023). Eksplorasi Implementasi Model Inkuiri Terbimbing dalam Pembelajaran IPA untuk Meningkatkan Kemampuan Berpikir Kritis dan Rasa Ingin Tahu Siswa Sekolah Dasar Di SD Negeri 2 Wadaga. *MISOOL: Jurnal Pendidikan Dasar*, 5(1), 33-47.
- White, A. E., Cohn, N., Davis, E. H., Hein, C. J., & Zinnert, J. C. (2024). Coastal Dune Management Affects Above and Belowground Biotic Characteristics. *Scientific Reports*, 14, 22688.
- Yulianti, K. (2024). Promoting Students' Soft Skills through Project-Based Learning in Character Building Pancasila Course: A Study in a Higher Education Institution in Indonesia. *International Society for Technology, Education, and Science*.
- Zhou, G., Cai, J., Wang, B., Diao, W., Zhong, Y., Pan, S., Xiong, W., Huang, G., & Zheng, C. (2025). Secondary Metabolites From The Mangrove Ecosystem-Derived Fungi *Penicillium* spp.: Chemical Diversity And Biological Activity. In *Marine Drugs* (Vol. 23, Issue 1). <https://doi.org/10.3390/Md23010007>