

Analisis SDGs Ekosistem Sungai Sebagai Model Isu Sosio-Saintifik Lokal Untuk Penguatan Pembelajaran IPA Berbasis ESD

Adhitya Chandra Permana, Muhammad Syaipul Hayat ✉, Mega Novita

Universitas PGRI Semarang

Jalan Lingga No.4-10 Kec. Semarang Timur, Semarang, Jawa Tengah, Indonesia

| m.syaipulhayat@upgris.ac.id ✉ | DOI : <https://doi.org/10.37729/jips.v7i1.7512> |

Article Info

Submitted

17/03/2026

Revised

18/04/2026

Accepted

16/05/2026

Abstrak – Implementasi Education for Sustainable Development (ESD) dalam pembelajaran IPA sering terkendala minimnya integrasi konteks lokal yang relevan. Penelitian ini bertujuan menganalisis profil keberlanjutan sungai musiman ditinjau dari tiga pilar SDGs serta mengeksplorasi potensinya sebagai sumber belajar berbasis Local Socio-Scientific Issues (SSI). Penelitian kualitatif deskriptif ini menggunakan pendekatan studi kasus di DAS Juwangi, Boyolali. Data dikumpulkan melalui observasi lapangan, wawancara mendalam terhadap warga, perangkat desa, dan guru IPA, serta studi dokumentasi. Analisis data menggunakan model interaktif dan pencocokan konten (content matching) terhadap Capaian Pembelajaran (CP) IPA Fase D. Hasil penelitian menunjukkan dua temuan utama. Pertama, profil keberlanjutan sungai berada dalam kondisi kritis akibat siklus kausalitas destruktif berupa ketiadaan infrastruktur sampah (sosial) merusak kualitas air (lingkungan) dan menekan daya dukung irigasi pertanian (ekonomi). Kedua, secara pedagogis, kompleksitas masalah Ekosistem Sungai Juwangi ini berhasil dipetakan secara nyata ke dalam spektrum materi IPA Fase D, meliputi topik Ekologi, Zat dan Perubahannya, serta Ilmu Bumi. Pemanfaatan matriks SSI lokal ini sangat strategis bagi pendidik untuk mengonkretkan visi ESD, mengubah siswa dari pembelajar pasif menjadi pemecah masalah (problem solver) yang memiliki action competence dan kepedulian terhadap lingkungan terdekatnya.

Kata kunci: ESD; Pembelajaran kontekstual; Pendidikan IPA; SDGs; SSI

Abstract – The implementation of Education for Sustainable Development (ESD) in science education is often hindered by the lack of integration of relevant local contexts. This study aims to analyze the sustainability profile of a seasonal river ecosystem based on the three SDG pillars and to explore its potential as a learning resource based on Local Socio-Scientific Issues (SSI). This descriptive qualitative research employed a case study approach in the Juwangi Watershed, Boyolali. Data were collected through field observations, in-depth interviews with residents, village officials, and science teachers, as well as documentation study. Data analysis utilized an interactive model and content matching against the Phase D Science Learning Outcomes (CP). The results reveal two main findings. First, the river's sustainability profile is in a critical condition due to a destructive causal cycle: the lack of waste infrastructure (social) degrades water quality (environmental) and pressures agricultural irrigation carrying capacity (economic). Second, pedagogically, the complexity of the Juwangi River ecosystem issues was tangibly mapped into a broad spectrum of Phase D Science topics, including Ecology, Matter and its Changes, and Earth Science. Utilizing this local SSI matrix is highly strategic for educators to concretize the ESD vision, transforming students from passive learners into active problem solvers equipped with action competence and care for their immediate environment.



Keywords: ESD; Contextual learning; Science education; SDGs; SSI

1. Pendahuluan

Di tengah eskalasi krisis lingkungan global dan perubahan iklim yang dampaknya mulai dirasakan hingga tingkat lokal, paradigma pendidikan sains di abad 21 tidak lagi dapat berhenti pada penguasaan konsep semata [1], [2]. Integrasi Sustainable Development Goals (SDGs) dalam kurikulum kini menjadi imperatif, khususnya Education for Sustainable Development (ESD) yang berperan vital membekali siswa tidak hanya dengan pengetahuan kognitif, tetapi juga kemampuan pengambilan keputusan etis terkait isu keberlanjutan [3], [4], [5].

Pendidikan memiliki peran strategis dalam mencapai target SDG 4 (Pendidikan Berkualitas) dan secara spesifik SDG 6 (Air Bersih dan Sanitasi) dengan mencetak generasi yang sadar akan kompleksitas hubungan antara aktivitas manusia dan lingkungan [6], [7]. Dalam konteks pembangunan daerah, penguatan ESD merupakan investasi jangka panjang untuk mencetak sumber daya manusia yang memiliki resiliensi dan kepedulian terhadap kelestarian aset lingkungan daerahnya sendiri [7], [8].

Meskipun urgensi ESD telah diakui, tantangan terbesar di lapangan adalah menerjemahkan tujuan global yang abstrak menjadi pembelajaran yang konkret. Pembelajaran IPA di sekolah seringkali masih bersifat tekstual dan terpisah dari realitas kontekstual siswa (*decontextualized*). Analisis terhadap materi ajar menunjukkan bahwa integrasi SDGs seringkali tidak seimbang, di mana aspek lingkungan lebih mendominasi dibandingkan aspek sosial dan ekonomi yang justru krusial dalam memahami akar masalah [9], [10]. Untuk menjembatani kesenjangan ini, pendekatan *Socio-Scientific Issues* (SSI) hadir sebagai jembatan pedagogis yang efektif. Pendekatan SSI menghadirkan dilema sains yang bersinggungan dengan isu sosial, memaksa siswa untuk menimbang bukti dan mengambil keputusan etis [11], [12]. Melalui SSI, sains tidak lagi dipandang sebagai disiplin ilmu yang sunyi, melainkan alat bantu utama untuk membedah permasalahan nyata di masyarakat [13], [14] selaras dengan pembentukan dimensi profil lulusan.

Salah satu objek kajian yang sangat potensial untuk dieksplorasi sebagai konteks SSI adalah ekosistem sungai. Sungai bukan sekadar badan air, melainkan sebuah ekosistem dinamis yang menopang kehidupan biotik dan abiotik. Di wilayah tropis seperti Indonesia, tantangan pengelolaan sungai menjadi semakin kompleks pada tipe sungai yang memiliki karakteristik debit musiman. Penelitian menunjukkan bahwa fluktuasi kualitas air dan beban pencemaran pada sungai musiman sangat dipengaruhi oleh perubahan musim kemarau dan hujan, yang berdampak langsung pada daya dukung lingkungan [15], [16]. Dinamika ekstrem antara kekeringan dan banjir pada sungai tipe ini menciptakan konflik kepentingan yang nyata antara kebutuhan pemanfaatan air dan upaya konservasi. Kondisi paradoks tersebut teramati secara nyata pada ekosistem sungai di wilayah Juwangi, kabupaten Boyolali. Berdasarkan observasi pendahuluan, sungai di wilayah ini memiliki karakteristik debit air musiman yang kontras di mana sungai mengalami kekeringan ekstrem saat kemarau namun berpotensi banjir luapan saat musim penghujan. Secara sosiologis, terdapat ironi dalam interaksi masyarakat dengan sungai. Di satu sisi, warga sangat bergantung pada sungai untuk irigasi pertanian dan aktivitas domestik, tetapi di sisi lain, sungai yang sama dijadikan tempat pembuangan limbah rumah tangga. Fenomena ini mencerminkan ketidakseimbangan tiga pilar utama SDGs, yakni kebutuhan ekonomi (irigasi) dan praktik sosial (kebiasaan membuang sampah) yang mencederai daya dukung lingkungan.

Bagi siswa SMP di wilayah tersebut, ekosistem ini sangat penting untuk dipelajari karena merepresentasikan realitas empiris yang mereka hadapi sehari-hari. Memahami kompleksitas sungai lokal menjadi urgensi tersendiri untuk membangun ikatan emosional (*sense of place*) dan kesadaran kritis, sehingga siswa tidak sekadar menjadi pengamat pasif, melainkan dipersiapkan sebagai agen pemecah masalah keberlanjutan di lingkungan terdekat mereka [17], [18]. Dalam implementasi pembelajaran IPA di tingkat sekolah, upaya menjembatani kesadaran lingkungan tersebut seringkali menemui kendala. Pendidik umumnya kesulitan menemukan konteks lokal yang secara utuh merepresentasikan rumitnya materi pencemaran lingkungan dan perubahan iklim (Capaian Pembelajaran Fase D), sehingga pembelajaran masih cenderung tekstual dan kurang bermakna [9], [10].

Penelitian terdahulu mengenai sungai dalam konteks pendidikan umumnya terfokus pada dua kutub terpisah, yaitu kajian murni parameter fisika-kimia kualitas air [19], [20], [21] atau pengembangan modul ajar berbasis kearifan lokal secara umum [22], [23], [24]. Belum banyak penelitian yang secara spesifik mengeksplorasi ekosistem sungai musiman dengan menggunakan kerangka analisis tiga pilar SDGs secara simultan untuk memetakan potensinya sebagai sumber belajar SSI. Kesenjangan inilah yang menjadi fokus penelitian ini. Oleh karena itu, kajian ini menjadi penting dilakukan untuk memecahkan masalah ketiadaan sumber belajar kontekstual tersebut. Kebaruan (*novelty*) dari penelitian ini terletak pada upaya transformasi fenomena ekologis-sosial lokal yang spesifik, yakni konflik pilar SDGs pada sungai musiman, menjadi kerangka pedagogis SSI yang terstruktur. Hasil analisis ini nantinya dapat langsung diimplementasikan oleh guru melalui model investigasi lapangan atau *Project-Based Learning* untuk mengonkretkan visi ESD dalam pembelajaran IPA [25], [26].

Berdasarkan paparan tersebut, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kondisi ekosistem sungai musiman di Juwangi ditinjau dari aspek keberlanjutan (lingkungan, sosial, ekonomi) dan mengeksplorasi potensinya sebagai isu sosio-saintifik lokal untuk pembelajaran IPA kontekstual berbasis ESD. Penelitian ini menawarkan kebaruan (*novelty*) berupa pemetaan isu lingkungan spesifik sungai musiman yang ditransformasikan menjadi konteks pembelajaran IPA berorientasi ESD. Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi praktis bagi pendidik dalam menyusun materi ajar yang tidak hanya mengajarkan konsep sains, tetapi juga membangun karakter peduli lingkungan dan kesadaran keberlanjutan siswa sesuai dimensi profil lulusan.

2. Metode

Penelitian ini menerapkan desain kualitatif deskriptif dengan pendekatan studi kasus tunggal (*single case study*) untuk mengeksplorasi fenomena ekosistem sungai musiman secara mendalam dalam konteks alaminya. Pendekatan ini dipilih karena mampu memotret dinamika interaksi antara aktivitas masyarakat dan kondisi lingkungan sungai yang fluktuatif secara komprehensif tanpa memanipulasi variabel. Tahapan penelitian dilaksanakan secara operasional mengadopsi model penelitian Haryadi *et al.* (2022) [27] dan Labibah *et al.* (2020) [28] yang mulai dari pra-lapangan yang meliputi studi literatur dan penyusunan instrumen, dilanjutkan dengan tahap lapangan untuk pengambilan data, serta diakhiri dengan analisis data untuk memetakan profil keberlanjutan dan potensi pedagogisnya.

Lokasi penelitian dipusatkan pada Daerah Aliran Sungai (DAS) Juwangi yang melintasi desa Juwangi, kecamatan Juwangi, kabupaten Boyolali, Jawa Tengah. Pemilihan lokasi ini didasarkan pada karakteristik spesifik sungai yang memiliki debit air musiman ekstrem serta adanya dualisme pemanfaatan sungai oleh warga yang merepresentasikan isu sosio-saintifik nyata. Subjek penelitian atau informan ditentukan menggunakan teknik *purposive sampling* guna memperoleh data yang relevan dengan tujuan penelitian. Informan terdiri dari elemen masyarakat bantaran sungai yang memanfaatkan air untuk irigasi maupun domestik, serta perangkat desa yang memahami kebijakan lokal untuk memotret realitas konflik lingkungan di lapangan. Selanjutnya, guna memastikan keselarasan studi kasus ini dengan bidang Ilmu Pengetahuan Alam (IPA) dan praksis pembelajarannya, informan juga mencakup guru IPA SMP setempat dan dosen pakar ESD. Keterlibatan praktisi pendidikan ini secara spesifik ditujukan untuk memvalidasi transformasi isu ekologis tersebut menjadi kerangka pembelajaran IPA, memastikan relevansinya dengan Capaian Pembelajaran (CP) IPA Fase D (seperti materi Pencemaran Lingkungan dan Ekologi), sehingga rancangan sumber belajar yang dihasilkan relevan dan sesuai dengan ruang lingkup pendidikan sains. Jumlah informan disesuaikan dengan prinsip saturasi data, di mana pengumpulan data dihentikan ketika tidak ditemukan variasi informasi baru.

Pengumpulan data dilakukan melalui tiga teknik utama, yaitu observasi, wawancara, dan studi dokumentasi. Observasi lapangan dilakukan secara langsung untuk mengamati indikator fisik sungai berdasarkan parameter keberlanjutan lingkungan, meliputi kondisi debit air, kekeruhan, serta keberadaan sampah antropogenik di sepanjang aliran sungai. Selanjutnya, wawancara mendalam (*in-depth interview*) dilakukan secara semiterstruktur dengan bantuan pedoman wawancara yang dikembangkan berdasarkan indikator tiga pilar *Sustainable Development Goals* (SDGs), yakni aspek sosial, ekonomi, dan lingkungan. Selain itu, studi dokumentasi dilakukan terhadap dokumen Kurikulum Merdeka (Capaian Pembelajaran IPA Fase D) serta data demografi desa untuk memperkuat analisis konteks sumber belajar.

Analisis data dalam penelitian ini dilakukan secara interaktif mengacu pada model Miles, Huberman, dan Saldaña [29] yang meliputi kondensasi data, penyajian data, dan verifikasi, dengan penerapan dua tahap spesifik sesuai fokus variabel penelitian. Pada tahap pertama, analisis difokuskan pada pemetaan profil keberlanjutan sungai menggunakan teknik koding deduktif berbasis kerangka tiga pilar SDGs. Data mentah hasil observasi dan wawancara dikategorisasi secara spesifik. Data fluktuasi debit dan biota air dikelompokkan ke dalam pilar *Lingkungan*, data interaksi warga dan manajemen limbah ke dalam pilar *Sosial*, serta data pemanfaatan irigasi dan lahan ke dalam pilar ekonomi.

Untuk menjamin validitas data keberlanjutan ini, peneliti melakukan triangulasi sumber dengan cara mengonfrontasi temuan fisik di lapangan (data observasi) dengan persepsi masyarakat (data wawancara) guna mengonfirmasi adanya ketimpangan interaksi antar pilar yang menyebabkan kerentanan ekosistem. Pada tahap kedua, analisis dilanjutkan pada variabel Potensi Pembelajaran IPA Kontekstual. Temuan isu keberlanjutan yang telah terverifikasi kemudian dianalisis menggunakan matriks kesesuaian materi (*content matching*) terhadap Capaian Pembelajaran (CP) IPA Fase D. Validasi pemetaan ini dilakukan dengan menyeleksi isu-isu tersebut menggunakan indikator *Socio-Scientific Issues* (SSI), yang meliputi keberadaan basis sains, relevansi kontekstual, dan adanya dilema nilai, untuk memastikan bahwa konteks yang dipilih layak serta selaras dengan prinsip ESD dalam melatih keterampilan berpikir kritis siswa.

Penelitian ini dilaksanakan dengan mematuhi prinsip-prinsip etika penelitian yang ketat guna melindungi hak dan kesejahteraan seluruh partisipan. Sebelum pengambilan data, peneliti telah menyampaikan penjelasan mengenai tujuan dan prosedur penelitian kepada tokoh masyarakat, guru, dan pihak terkait lainnya untuk mendapatkan persetujuan (*informed consent*). Privasi dan kerahasiaan identitas informan dijaga sepenuhnya dalam penyajian data, dan seluruh aktivitas observasi lapangan dilakukan dengan tetap menghormati norma sosial serta kearifan lokal masyarakat Juwangi tanpa mengganggu aktivitas warga maupun merusak ekosistem setempat.

3. Hasil dan Pembahasan

Berdasarkan hasil pengumpulan data melalui observasi lapangan dan wawancara mendalam di Daerah Aliran Sungai (DAS) Juwangi, ditemukan gambaran komprehensif mengenai kondisi ekologis yang dinamis serta inte raksi antropogenik yang intens di wilayah studi. Data empiris yang diperoleh dianalisis untuk memotret realitas sungai dari dua perspektif strategis. Bagian ini pertama-tama akan menguraikan status keberlanjutan sungai yang ditinjau dari interkoneksi tiga pilar *Sustainable Development Goals* (SDGs), untuk kemudian dilanjutkan dengan analisis mengenai transformasi masalah lingkungan tersebut menjadi potensi sumber belajar kontekstual berbasis *Socio-Scientific Issues* (SSI). Uraian berikut menyajikan pembahasan mendalam mengenai kedua aspek tersebut secara terintegrasi.

3.1. Analisis Profil Keberlanjutan Sungai (Perspektif SDGs)

Untuk memahami kompleksitas permasalahan di sungai Juwangi secara holistik, analisis profil keberlanjutan ini diawali dengan pemetaan strategis yang menghubungkan temuan empiris lapangan dengan indikator global *Sustainable Development Goals* (SDGs). Identifikasi awal ini krusial untuk melihat posisi masing-masing pilar dalam satu kerangka kerja yang terintegrasi. [Tabel 1](#) menyajikan matriks diagnostik mengenai masalah utama, mekanisme dampak yang terjadi, serta status keberlanjutan sungai saat ini.

Tabel 1. Matriks Integrasi Temuan dan SDGs

Dimensi & SDG Terkait	Masalah Utama (Temuan Lapangan)	Mekanisme Dampak (Kausalitas)	Status Keberlanjutan
Sosial (SDG 12: Konsumsi & Produksi) (SDG 11: Pemukiman Berkelanjutan)	Absennya TPS/TPA dan fasilitas pengolahan limbah komunal.	Masyarakat menjadikan sungai sebagai "tempat sampah raksasa" karena tidak ada opsi lain.	Kritis (Pemicu Utama)
Lingkungan (SDG 6: Air Bersih & Sanitasi) (SDG 3: Kehidupan Sehat)	Air sungai keruh, berbau, dan tercemar limbah domestik/pertanian.	Sumber air tidak layak pakai, namun tetap digunakan karena keterpaksaan, meningkatkan risiko penyakit.	Terancam (Korban Langsung)
Ekonomi (SDG 2: Tanpa Kelaparan/Pertanian) (SDG 8: Pertumbuhan Ekonomi)	Penurunan hasil panen akibat kualitas air irigasi yang buruk.	Produktivitas lahan menurun menyebabkan pendapatan petani turun sehingga meningkatkan kerentanan ekonomi.	Rentan (Dampak Jangka Panjang)

Matriks pada Tabel 1 mengindikasikan adanya ketimpangan struktural yang tajam pada ketiga pilar. Terlihat jelas bahwa isu pada aspek sosial (SDG 11 dan 12) bukan lagi masalah yang berdiri sendiri, melainkan bertindak sebagai determinan utama atau *root cause* yang secara agresif menekan kinerja pilar lingkungan dan ekonomi. Data-data kuantitatif dan hasil wawancara mendalam yang akan diuraikan berikut ini akan memvalidasi bagaimana mekanisme dampak tersebut bekerja secara nyata dalam kehidupan sehari-hari masyarakat di sekitar sungai Juwangi. Berdasarkan analisis data lapangan yang ditriangulasi dengan hasil wawancara mendalam, profil keberlanjutan sungai Juwangi menunjukkan kondisi kritis yang merefleksikan kegagalan pencapaian target pada beberapa tujuan utama *Sustainable Development Goals* (SDGs). Kondisi ini tidak hanya bersifat fisik, melainkan akumulasi dari ketimpangan sistemik pada pilar lingkungan, sosial, dan ekonomi. Data verbal dari para informan menyingkap bahwa degradasi fisik sungai merupakan manifestasi dari hambatan struktural dan kultural yang dialami masyarakat.

Pada pilar lingkungan temuan utama menunjukkan degradasi kualitas ekosistem air tawar yang bertentangan dengan SDG 6 (Air Bersih dan Sanitasi), khususnya target 6.3 (meningkatkan kualitas air dengan mengurangi polusi dan meminimalkan pembuangan bahan kimia). Observasi visual mengonfirmasi adanya akumulasi limbah antropogenik berupa residu plastik kemasan, limbah tekstil rumah tangga, dan popok bayi (*diapers*) di sepanjang aliran sungai. Keberadaan sampah popok ini menjadi perhatian khusus karena mengandung polimer penyerap super (SAP) yang sulit terurai dan berpotensi melepaskan mikroplastik ke rantai makanan perairan [30]. Mikroplastik ini berpotensi diserap oleh biota perairan, berpotensi masuk ke rantai makanan dan menimbulkan gangguan kesehatan seperti gangguan endokrin dan metabolisme [31]. Temuan ini mengindikasikan bahwa fungsi ekologis sungai telah terdegradasi secara signifikan akibat tekanan aktivitas manusia yang melebihi daya dukung lingkungan, sebuah fenomena yang juga dilaporkan terjadi pada sungai-sungai sekunder di Jawa oleh penelitian Aisy *et al.*, (2025) [32] dan Rahayu *et al.*, (2024) [33] yang menyebutkan bahwa sungai musiman seringkali beralih fungsi menjadi tempat pembuangan sampah akhir ilegal saat air surut. Hasil wawancara mengonfirmasi bahwa sungai diperlakukan sebagai "halaman belakang" tempat pembuangan akhir. Hal ini terungkap dari pernyataan salah satu warga bantaran:

"Lha mau dibuang ke mana lagi, mas? Di desa sini tidak ada truk sampah yang masuk, TPS juga jauh. Kalau dibakar terus asapnya mengganggu tetangga. Jadi paling gampang ya 'dilarung' (dihanyutkan) ke sungai, nanti kan terbawa air." (Wawancara, 25 Oktober 2025)

Kutipan ini sejalan dengan penelitian-penelitian terdahulu yang menyebutkan bahwa sungai di pedesaan Jawa seringkali bertransformasi menjadi "tempat pembuangan akhir tersembunyi" akibat minimnya akses layanan kebersihan [34], [35], [36]. Kutipan tersebut juga menegaskan bahwa kegagalan pencapaian SDG 12 (Konsumsi dan Produksi yang Bertanggung Jawab), khususnya target 12.5 (pengurangan limbah), bukan semata akibat perilaku warga yang tidak peduli, melainkan akibat ketiadaan infrastruktur pengelolaan sampah di tingkat desa (*systemic failure*). Fenomena ini sejalan dengan teori perilaku terencana (*theory of planned behavior*), di mana ketiadaan fasilitas fisik menjadi penghambat utama niat pro lingkungan [37], [38].

Kondisi fisik sungai menunjukkan fluktuasi debit yang sangat kontras. Saat musim penghujan, sungai memiliki debit air yang tinggi dengan arus deras yang berpotensi meluap, sementara pada puncak musim kemarau, sungai mengalami kekeringan parah hingga dasar sungai terlihat dan air hanya tersisa di ceruk-ceruk kecil. Fenomena ini mengindikasikan kerentanan terhadap SDG 13 (Penanganan Perubahan Iklim), khususnya target 13.1 (memperkuat kapasitas ketahanan dan adaptasi terhadap bahaya terkait iklim). Hilangnya vegetasi penyangga (*riparian buffer*) di tepian sungai akibat konversi lahan pertanian memperparah erosi dan sedimentasi, sehingga sungai kehilangan kemampuannya untuk menahan air. Temuan ini dikonfirmasi oleh keluhan warga sebagaimana diungkapkan tokoh masyarakat (informan TM-01) yang menyatakan bahwa:

"Banjir sekarang lebih cepat naik tapi surutnya lama, mungkin karena banyak sampah menumpuk di dasar sungai. Pohon-pohon di sekitar sungai sekarang sudah jadi kebun, jadi gampang longsor di pinggir sungai" (Wawancara, 14 Oktober 2025)

Kedua, pada Pilar Sosial, terdapat kontradiksi perilaku yang mengancam SDG 3 (Kehidupan Sehat dan Sejahtera), khususnya target 3.3 (mengakhiri epidemi penyakit menular yang ditularkan melalui air) dan target 3.9 (mengurangi penyakit akibat pencemaran air). Meskipun sungai tercemar secara visual, sebagian masyarakat masih memanfaatkannya untuk aktivitas mandi dan mencuci (MCK). Wawancara mendalam mengungkapkan bahwa perilaku ini bukan semata-mata didasari oleh ketidaktahuan, melainkan keterbatasan ekonomi dan keterbatasan infrastruktur sanitasi dasar di rumah tangga sebagaimana diungkapkan oleh seorang ibu rumah tangga (Informan W-04):

"Kalau kemarau sumur di rumah itu kering dan airnya kuning berbau besi. Jadi terpaksa nyuci baju dan mandi ke sungai walaupun kotor ada sampahnya. Kalau untuk minum dan masak pakai air PAM. Biar hemat." (Wawancara, 19 Oktober 2025)

Temuan ini sangat relevan dengan target 6.1 (akses universal air minum aman). Analisis terhadap pernyataan ini menunjukkan bahwa masyarakat Juwangi mengalami kerentanan ganda, yaitu mereka terpapar risiko kesehatan kulit dan pencernaan (target 3.3 dan 3.9) karena ketiadaan alternatif sumber air bersih yang terjangkau. Fenomena ini menegaskan apa yang disebut oleh Mukti [39] sebagai "keterpaksaan ekologis", di mana masyarakat berpenghasilan rendah terpaksa mengakses sumber daya tercemar karena ketiadaan alternatif. Selain itu, praktik pembuangan sampah ke sungai menunjukkan belum tercapainya SDG 12 (Konsumsi dan Produksi yang Bertanggung Jawab), tepatnya target 12.5 (Mengurangi produksi limbah secara substansial). Hal ini mensinyalir lemahnya sistem tata kelola sampah di tingkat desa, sehingga sungai dianggap sebagai solusi praktis pemusnahan sampah domestik.

Ketiga, pada Pilar Ekonomi, ketergantungan masyarakat terhadap sungai sangat tinggi untuk menopang SDG 2 (Tanpa Kelaparan), yaitu melalui dukungan irigasi bagi pertanian padi dan palawija (target 2.4: Sistem produksi pangan yang berkelanjutan). Namun, keberlanjutan ekonomi ini bersifat paradoksal. Di satu sisi sungai adalah "urat nadi" pertanian, namun di sisi lain, kualitas air yang memburuk akibat sampah anorganik berpotensi menurunkan kualitas tanah dan hasil panen dalam jangka panjang. Sampah plastik yang menyumbat saluran irigasi juga meningkatkan risiko banjir yang merusak lahan pertanian, yang pada akhirnya mengancam target SDG 1 (Tanpa Kemiskinan) bagi petani kecil. Temuan ini diperkuat oleh hasil wawancara terhadap petani setempat (Informan P-03) yang mengeluhkan dampak sampah plastik terhadap produktivitas pertanian:

"Plastik-plastik itu bikin mampet pintu air irigasi. Kalau musim hujan, sampah popok dan plastik masuk ke sawah, bikin tanah jadi susah diolah dan padi gampang roboh. Hasil panen jadi turun." (Wawancara, 30 Oktober 2025)

Fenomena paradoksal antara tingginya ketergantungan irigasi dan masifnya pencemaran di DAS Juwangi mengindikasikan adanya *trade-off* kritis dalam implementasi SDGs di tingkat lokal. Keluhan petani mengenai penurunan produktivitas akibat sampah plastik bukan sekadar masalah teknis irigasi, melainkan cerminan degradasi kualitas lahan pertanian yang serius. Studi mutakhir menegaskan bahwa akumulasi residu plastik di lahan pertanian (plastikultura) dapat mengubah sifat fisik tanah, seperti menurunkan porositas dan kapasitas menahan air, yang secara langsung menghambat pertumbuhan akar tanaman [40], [41]. Lebih lanjut, sumbatan pada infrastruktur irigasi akibat limbah antropogenik, seperti yang terjadi di Juwangi, terbukti meningkatkan biaya operasional pertanian dan risiko gagal panen akibat distribusi air yang tidak merata [42]. Kondisi ini menciptakan efek domino yaitu kegagalan mengelola target lingkungan (SDG 12: Konsumsi dan Produksi yang Bertanggung Jawab) secara langsung mencederai target ketahanan pangan (SDG 2) dan stabilitas ekonomi petani (SDG 1).

Tanpa intervensi mitigasi yang mengintegrasikan manajemen sampah ke dalam tata kelola irigasi, DAS Juwangi berpotensi mengalami penurunan daya dukung agraris yang permanen, sebagaimana diprediksi dalam kajian kerentanan ekosistem sungai tropis akibat tekanan aktivitas manusia [43].

Berdasarkan elaborasi data dan fakta yang telah dipaparkan sebelumnya, dinamika permasalahan di Sungai Juwangi tidak berjalan secara linear, melainkan membentuk sebuah sistem yang saling mengunci. Untuk memperjelas pola hubungan antar-variabel yang ditemukan, disajikan visualisasi mekanisme kausalitas yang menghubungkan degradasi lingkungan dengan kerentanan sosial-ekonomi masyarakat pada [Gambar 1](#).



Gambar 1. Diagram Siklus Kausalitas Pengelolaan Sungai Juwangi

Diagram Siklus Kausalitas (*Causal Loop Diagram*) pada [Gambar 1](#) secara visual mempertegas keberadaan *vicious cycle* dalam pengelolaan sungai saat ini. Panah-panah tersebut menunjukkan bagaimana defisit infrastruktur sosial menciptakan efek domino yang merusak aset lingkungan, yang pada gilirannya melumpuhkan potensi ekonomi masyarakat. Visualisasi ini menegaskan bahwa tanpa intervensi pemutus siklus, degradasi akan terus berlanjut secara akumulatif.

Sintesis terhadap ketiga pilar menegaskan bahwa pengelolaan sungai Juwangi saat ini terperangkap dalam siklus kausalitas destruktif (*destructive vicious cycle*). Defisit pada infrastruktur sosial, terutama absennya manajemen limbah (SDG 12), menjadi pemicu utama yang memaksa masyarakat melakukan *trade-off* negatif yakni mengorbankan integritas lingkungan dan kesehatan (SDG 6 & 3) demi memenuhi desakan ekonomi jangka pendek. Temuan ini membuktikan tingginya kerentanan (*vulnerability*) masyarakat, di mana degradasi ekologis secara perlahan namun pasti sedang menggerus produktivitas lahan yang menjadi basis ketahanan pangan dan ekonomi mereka (SDG 2). Dengan demikian, status quo ini tidak hanya menghambat pencapaian SDGs, tetapi juga mengancam daya dukung sungai sebagai tumpuan hidup jangka panjang.

3.2. Analisis Potensi Sungai Sebagai Sumber Belajar (Perspektif SSI)

Kompleksitas permasalahan di sungai Juwangi yang telah diuraikan sebelumnya, dimana terjadi konflik kepentingan antara kebutuhan ekonomi dan kelestarian lingkungan, memenuhi kriteria utama sebagai Isu Sosio-Saintifik (SSI). Dalam kacamata *Education for Sustainable Development* (ESD), keberadaan *vicious cycle* ini bukan sekadar data lingkungan, melainkan sebuah *wicked problem* yang ideal untuk melatih kompetensi keberlanjutan siswa. Potensi ini tidak hanya terletak pada ketersediaan objek biologi atau kimia semata, melainkan pada konteks nyata yang menuntut siswa mengembangkan kemampuan berpikir sistem (*systems thinking*) dan kompetensi bertindak (*action competence*) [4], [9], [17], [44]. Berdasarkan analisis Capaian Pembelajaran (CP) IPA Fase D (SMP) dan fenomena yang ditemukan di lapangan, sungai Juwangi menawarkan kerangka pembelajaran yang mengintegrasikan konten sains (IPA) dengan kompetensi inti ESD. Pemetaan potensi tersebut disajikan dalam [Tabel 2](#).

Tabel 2. Matriks Integrasi Isu Sosio-Saintifik (SSI) Sungai Juwangi Dengan Materi IPA Fase D dan Kompetensi ESD

Fenomena & Isu Sosio-Saintifik Lokal (Temuan Lapangan)	Materi & Konsep IPA Terkait (CP Fase D)	Target Kompetensi ESD (ESD Competencies)
Dilema Sampah & Penyumbatan Aliran Tumpukan sampah plastik dan organik menghambat aliran sungai, memicu bau busuk dan gas hasil pembusukan. Kekeruhan & Kualitas Air Air sungai berwarna cokelat keruh dan berbau, namun tetap digunakan warga karena krisis air bersih. Ancaman Biodiversitas Sungai: Hilangnya spesies ikan lokal dan dominasi spesies tertentu yang tahan polusi, atau adanya kematian ikan massal. Degradasi Bantaran Sungai: Pengikisan tanah di pinggir sungai (erosi) akibat aliran air dan minimnya vegetasi penahan. Pertanian & Ketahanan Pangan: Penggunaan air sungai yang tercemar untuk irigasi sawah menyebabkan penurunan hasil panen. Potensi Solusi Biologis: Pemanfaatan tanaman air (eceng gondok/melati air) atau pembuatan <i>Eco-enzyme</i> dari limbah buah untuk menjernihkan sungai. Dilema Sampah vs Fasilitas: Warga membuang sampah ke sungai karena tidak ada TPA, menyebabkan penyumbatan aliran. Penurunan Kualitas Air: Air sungai keruh, berbau, dan menyebabkan gatal (dampak kesehatan). Ancaman Ketahanan Pangan: Air tercemar menurunkan hasil panen padi warga sekitar.	Zat dan Perubahannya: Sifat fisika/kimia zat, kerapatan (mengapa plastik mengapung/tenggelam), pemisahan campuran (filtrasi), dan perubahan kimia (pembusukan/fermentasi). Pengukuran & Metode Ilmiah: Pengukuran parameter fisik (suhu, kekeruhan) dan kimia (pH) air sungai. Merancang percobaan sederhana penjernihan air. Klasifikasi Makhluk Hidup: Ciri-ciri makhluk hidup, identifikasi spesies (taksonomi sederhana), dan penggunaan kunci determinasi hewan air. Bumi dan Antariksa (Lapisan Bumi): Struktur lapisan tanah, jenis-jenis tanah, siklus hidrologi, dan dampak erosi terhadap topografi permukaan bumi. Ekologi & Interaksi Makhluk Hidup: Rantai makanan, jaring-jaring makanan, aliran energi, dan dampak polutan dalam bioakumulasi (akumulasi racun dalam tubuh tumbuhan). Bioteknologi Konvensional: Pemanfaatan mikroorganisme (fermentasi) atau fitoremediasi (tumbuhan penyerap racun) untuk mengatasi pencemaran. Pencemaran Lingkungan & Perubahan Iklim: Jenis polutan, daur ulang limbah, dampak gas metana dari tumpukan sampah. Zat dan Perubahannya: Unsur, senyawa, campuran, pH air, metode penjernihan air (filtrasi). Interaksi Makhluk Hidup: Rantai makanan, jaring-jaring kehidupan, aliran energi dalam ekosistem sawah-sungai.	Kompetensi Strategis (Strategic Competency): Siswa merancang strategi pengelolaan sampah rumah tangga yang realistis untuk mengurangi residu ke sungai. Berpikir Kritis (Critical Thinking): Siswa mengevaluasi data kualitas air dan mempertanyakan validitas "kebiasaan" penggunaan air sungai yang dianggap "biasa saja" oleh warga. Kesadaran Diri (Self-Awareness Competency): Siswa merefleksikan peran manusia sebagai bagian dari ekosistem, bukan penguasa yang berhak merusak habitat spesies lain. Kompetensi Antisipatif (Anticipatory Competency): Siswa memprediksi potensi bencana longsor di masa depan dan menganalisis pentingnya vegetasi (reboisasi) di bantaran sungai. Berpikir Sistem (Systems Thinking): Siswa memetakan hubungan kompleks antara polusi air, kualitas tanah sawah, hasil panen, ekonomi petani. Kompetensi Pemecahan Masalah Terintegrasi: Siswa menciptakan produk solutif berbasis sains yang dapat diterapkan langsung di komunitas lokal. Berpikir Kritis (Critical Thinking): Siswa menganalisis akar masalah mengapa infrastruktur absen dan dampaknya, bukan sekadar menyalahkan warga. Berpikir Sistem (Systems Thinking): Siswa menghubungkan sebab (limbah domestik), proses (perubahan kimia air), dan akibat (kesehatan masyarakat). Kompetensi Antisipatif (Anticipatory Competency): Siswa memprediksi skenario masa depan jika pencemaran berlanjut dan merancang strategi mitigasi.

Tabel 2 menunjukkan bahwa fenomena kerusakan di sungai Juwangi menyediakan spektrum materi yang luas untuk Capaian Pembelajaran (CP) IPA Fase D. Materi tidak hanya terbatas pada topik pencemaran (Ekologi), tetapi juga merambah ke aspek Kimia (Zat dan Perubahannya), Biologi (Klasifikasi dan Bioteknologi), hingga Ilmu Bumi (Tanah dan Hidrosfer). Hal ini membuktikan bahwa Isu Sosio-Saintifik (SSI) lokal mampu menjadi jangkar (*anchor*) untuk pembelajaran IPA terpadu (*Integrated Science*), di mana batas-batas disiplin ilmu melebur saat siswa fokus menyelesaikan masalah keberlanjutan yang nyata (ESD). Sejalan dengan riset mutakhir, konteks lokal seperti DAS Juwangi menyediakan jembatan epistemologis yang menghubungkan konsep sains abstrak dengan realitas empiris yang dialami siswa sehari-hari, sehingga meningkatkan keterlibatan emosional dan relevansi pembelajaran [45], [46]. Penggunaan konteks yang dekat dengan siswa sebagai jembatan kognitif ini terbukti sangat efektif dalam mereduksi miskonsepsi sekaligus meningkatkan *Higher Order Thinking Skills* (HOTS) dalam pembelajaran IPA [47]. Lebih jauh, dalam proses inkuiri berbasis SSI, sekat-sekat disiplin ilmu fisika, biologi, dan kimia menjadi kabur (*blurring boundaries*) karena siswa dituntut memobilisasi berbagai konsep sains secara simultan untuk merumuskan solusi holistik [48]. Secara lebih mendalam, integrasi isu lokal ini ke dalam pembelajaran IPA menawarkan tiga dimensi nilai tambah yang selaras dengan tujuan transformatif ESD, yaitu relevansi kontekstual, penalaran moral, dan kompetensi bertindak.

Pertama, penguatan aspek relevansi dan *sense of place*. Keunggulan utama sungai Juwangi sebagai sumber belajar kontekstual terletak pada otentisitas masalah yang diangkat. Berbeda dengan contoh kasus di buku teks yang seringkali abstrak, isu sungai ini adalah realitas empiris yang dihadapi siswa sehari-hari. Dalam kerangka *Place-Based Education* (PBE) sebagai bagian dari ESD, pembelajaran yang berangkat dari lingkungan terdekat akan menumbuhkan keterikatan emosional (*emotional attachment*) siswa. Hal ini krusial untuk mentransformasi pengetahuan kognitif semata menjadi sikap peduli (*environmental attitude*) [18], [49]. Siswa tidak lagi sekadar menghafal definisi pencemaran, melainkan terusik untuk memahami mengapa sungai di belakang rumah ercemar dan apa peran dalam memperbaikinya.

Kedua, pengembangan penalaran sosio-saintifik (*socio-scientific reasoning*). Sifat dilematis dari temuan lapangan, di mana warga terpaksa membuang limbah ke sungai karena ketiadaan infrastruktur demi kelangsungan hidup, menjadi sarana efektif untuk melatih logika moral siswa. Melalui pendekatan SSI, siswa diajak berdialektika bahwa solusi lingkungan tidak selalu hitam-putih. Proses ini melatih dimensi sosial-emosional, di mana siswa dituntut menyeimbangkan fakta sains (parameter polutan) dengan realitas sosial-ekonomi (keterbatasan warga) [14], [50]. Dengan demikian, solusi yang mereka rumuskan tidak hanya valid secara ilmiah, tetapi juga etis, holistik, dan manusiawi.

Ketiga, pembentukan kompetensi bertindak (*action competence*). Tujuan puncak dari ESD bukanlah akumulasi pengetahuan, melainkan membangun kompetensi bertindak (*action competence*) siswa untuk berpartisipasi dalam menyelesaikan tantangan keberlanjutan [44], [51]. Transformasi isu sungai ini menjadi desain pembelajaran yang autentik, misalnya melalui model berbasis proyek, merupakan langkah krusial untuk memastikan peningkatan hasil belajar IPA yang bermakna dan aplikatif [25]. Integrasi temuan lapangan ke dalam materi IPA membuka ruang bagi *Project-Based Learning* (PjBL), dimana siswa dapat merancang solusi konkret, seperti alat filtrasi sederhana dan kampanye data sampah berbasis statistik sederhana. Dengan cara ini, sungai Juwangi bertransformasi dari sekadar objek masalah menjadi laboratorium hidup (*living laboratory*), yang mencetak siswa bukan hanya sebagai pembelajar pasif, melainkan agen perubahan (*change agents*) yang melek sains dan berkomitmen pada keberlanjutan.

3.3. Implikasi Penelitian

Hasil penelitian ini menawarkan implikasi strategis, baik secara teoretis maupun praktis, yang berfokus pada transformasi proses pembelajaran IPA di sekolah. Secara teoretis, temuan ini mengukuhkan paradigma bahwa pembelajaran berbasis Isu Sosio-Saintifik (SSI) tidak harus bergantung pada isu global yang abstrak, seperti rekayasa genetika atau pemanasan global berskala makro. Sebaliknya, isu lingkungan lokal yang kontekstual, seperti dinamika ekosistem sungai musiman di Juwangi, terbukti memiliki validitas pedagogis yang tinggi dan relevansi kognitif yang kuat bagi siswa.

Hal ini memperkaya literatur pendidikan sains dengan menunjukkan bahwa fenomena alam di daerah sendiri dapat menjadi basis konstruktivisme yang efektif untuk menstimulasi *sense of place* (keterikatan emosional terhadap lingkungan).

Dalam tataran praktis operasional, sebagaimana telah diuraikan pada pemetaan matriks di [Tabel 2](#), pengintegrasian kasus lingkungan nyata ini dirancang untuk memberikan dampak langsung terhadap cara siswa memproses informasi sains. Pemanfaatan fenomena lokal ini mengubah posisi siswa dari penerima informasi yang pasif menjadi pemecah masalah (*problem solver*) yang aktif. Sebagai contoh, ketika siswa dihadapkan pada dilema kekeruhan air dan kebutuhan sanitasi warga, mereka tidak lagi sekadar menghafal langkah-langkah metode pemisahan campuran secara tekstual. Sebaliknya, siswa ditantang secara intelektual dan afektif untuk merancang proyek penjernihan air (*filtrasi*) yang rasional dan aplikatif untuk membantu komunitasnya. Proses dialektika antara fakta sains dan dilema sosial warga (seperti ketiadaan infrastruktur sampah) akan memaksa siswa memobilisasi keterampilan berpikir sistem (*systems thinking*) dan empati.

Penelitian ini merekomendasikan sebuah model inovasi pembelajaran langsung bagi para pendidik IPA, khususnya di wilayah dengan karakteristik ekologis serupa. Matriks integrasi materi pada [Tabel 2](#) dapat dioperasionalkan secara langsung oleh guru sebagai cetak biru (*blueprint*) dalam menyusun Modul Ajar, Lembar Kerja Peserta Didik (LKPD) berbasis *Project-Based Learning* (PjBL), maupun instrumen asesmen yang berorientasi pada *Higher Order Thinking Skills* (HOTS). Dengan menjadikan sungai sebagai laboratorium hidup (*living laboratory*), pendidikan sains di sekolah dapat secara nyata menjembatani penguasaan kognitif siswa dengan tumbuhnya kompetensi bertindak (*action competence*), mencetak generasi yang melek sains dan memiliki kapasitas nyata dalam menjaga keberlanjutan lingkungan terdekatnya.

4. Kesimpulan

Penelitian ini menyimpulkan bahwa ekosistem sungai musiman di wilayah Juwangi memiliki dualisme karakteristik: sebagai aset lingkungan yang rentan sekaligus sumber belajar IPA yang sangat potensial. Dari perspektif keberlanjutan, teridentifikasi adanya siklus kausalitas destruktif di mana defisit infrastruktur persampahan (sosial) secara langsung merusak kualitas air (lingkungan), yang pada gilirannya mengancam produktivitas irigasi pertanian (ekonomi). Namun, secara pedagogis, kerentanan dan paradoks lingkungan ini terbukti dapat ditransformasikan menjadi konteks pembelajaran yang autentik. Pemetaan terhadap Capaian Pembelajaran (CP) Fase D menunjukkan bahwa masalah spesifik sungai ini memiliki relevansi kuat dengan berbagai topik IPA terpadu, seperti Ekologi, Zat dan Perubahannya, hingga Perubahan Iklim. Oleh karena itu, direkomendasikan kepada para pendidik IPA di wilayah dengan karakteristik ekologis serupa untuk segera menggeser pendekatan pembelajaran dari tekstual menjadi investigasi lapangan yang kontekstual berbasis Isu Sosio-Saintifik (SSI) lokal. Dengan menggunakan sungai sebagai laboratorium alam melalui model *Project-Based Learning* (PjBL), pembelajaran IPA dapat secara efektif menstimulasi keterampilan berpikir sistem (*systems thinking*) dan membangun kompetensi bertindak (*action competence*) siswa. Bagi peneliti selanjutnya, disarankan untuk melakukan hilirisasi temuan diagnostik ini dengan mengembangkan dan menguji efektivitas produk bahan ajar spesifik, seperti Modul Ajar atau E-LKPD interaktif berbasis penyelesaian masalah ekosistem sungai Juwangi.

5. Ucapan Terima Kasih

Para penulis ingin menyampaikan ucapan terima kasih kepada Universitas PGRI Semarang atas dukungan akademis dan sumber daya yang diberikan selama penelitian ini berlangsung. Penulis juga mengucapkan terima kasih kepada pemerintah desa Juwangi atas kerja sama, bantuan, dan kontribusi berharga yang diberikan selama proses penelitian.

Daftar Pustaka

- [1] D. Faricha and D. W. Ertanti, "Analisis Metode Eksperimen IPA Sekolah Dasar Terhadap Kemampuan Berfikir Kritis Pada Pembelajaran Berdeferensiasi," *Inov. J. Penelit. Pendidikan, Agama, dan Kebud.*, vol. 11, no. 2, pp. 186–200, 2025, doi: 10.55148/inovatif.v11i2.1100.
- [2] I. G. A. M. Darwati and I. M. Purana, "Problem Based Learning (PBL) : Suatu Model Pembelajaran Untuk Mengembangkan Cara Berpikir Kritis Peserta Didik," *Widya Accarya*, vol. 12, no. 1, pp. 61–69, 2021, doi: 10.46650/wa.12.1.1056.61-69.
- [3] A. P. El Magheest and S. Suryanti, "Implementasi education for sustainable development dan pencapaian kesadaran berkelanjutan dalam pembelajaran IPA di SD alam," *J. Penelit. Pendidik. Guru Sekol. Dasar*, vol. 13, no. 1, pp. 267–281, 2025,
- [4] R. Widyawati, M. Novita, S. Patonah, and F. Roshayanti, "Tantangan dan Peluang dalam Pendidikan Kimia Hijau Berorientasi Education for Sustainable Development (ESD) di Sekolah Menengah Atas: Studi Kasus di Kabupaten Sragen," *Didakt. J. Kependidikan*, vol. 13, no. 001 Des, pp. 537–548, 2024, doi: 10.58230/27454312.1287.
- [5] S. Rahmawati, F. Roshayanti, A. S. Nugroho, and M. S. Hayat, "Potensi implementasi Education for Sustainable Development (ESD) dalam pembelajaran IPA di MTs Nahdlatul Ulama Mranggen Kabupaten Demak," *J. Kualita Pendidik.*, vol. 2, no. 1, pp. 15–27, 2021, doi: 10.51651/jkp.v2i1.27.
- [6] R. Indriasari, F. F. Sidiq, and D. E. K. Mendrofa, "Penguatan Pendidikan Karakter Sebagai Wujud Pendidikan berkualitas dalam Upaya Mencapai Tujuan Pembangunan Berkelanjutan (SDGs)," *J. Wahana Bina Pemerintah.*, vol. 6, no. 2, pp. 96–103, 2024, doi: 10.55745/jwbpb.v6i2.273.
- [7] A. Chairy, I. Istiqomah, and A. C. F. Nahdiyah, "Sustainable Development Goals (SDGs) Dan Pendidikan Islam Di Perguruan Tinggi: Sinergi Untuk Masa Depan," *Acad. J. Inov. Ris. Akad.*, vol. 4, no. 3, pp. 124–134, 2024, doi: 10.51878/academia.v4i3.3631.
- [8] Y. F. Karina, G. Adam, M. Fukayo, M. Berkanis, and P. Nadja, "Pendidikan Lingkungan Bagi Masyarakat Sebagai Kunci Pelestarian Alam," *JUPEIS J. Pendidik. dan Ilmu Sos.*, vol. 4, no. 3, pp. 58–62, 2025, doi: 10.57218/jupeis.Vol4.Iss3.1621.
- [9] D. T. Utami, F. Roshayanti, E. R. S. Dewi, and A. S. Nugroho, "Analisis Bahan Ajar Biologi SMA Ditinjau dari Muatan Sustainable Development Goals (SDGs)," *JP3 (Jurnal Pendidik. dan Profesi Pendidik)*, vol. 9, no. 1, pp. 8–17, 2023, doi: 10.26877/jp3.v9i1.17029.
- [10] E. Nasrudin, S. Anwar, E. Suresman, U. Q. Rahmi, and D. S. Hidayatulloh, "Integration of Sustainable Development Goals in Islamic Teaching Materials in Higher Education," *Tafkir Interdiscip. J. Islam. Educ.*, vol. 6, no. 1, pp. 17–39, 2025, doi: 10.31538/tijie.v6i1.1266.
- [11] J. A. Foulk, P. J. Friedrichsen, and T. D. Sadler, "Science in socio-scientific issues," *Sci. Teach.*, vol. 87, no. 7, pp. 35–39, 2020, doi: 10.1080/00368555.2020.12293518.
- [12] V. Kumar, S. K. Choudhary, and R. Singh, "Environmental socio-scientific issues as contexts in developing scientific literacy in science education: A systematic literature review," *Soc. Sci. Humanit. Open*, vol. 9, p. 100765, 2024, doi: 10.1016/j.ssaho.2023.100765.
- [13] D. R. Sari, S. Saputro, and S. Sajidan, "A Systematic Review on Integrating SSI into Science Education: Its Impact on 21st Century Skills (2014-2024)," *Educ. Stud. Res. J.*, vol. 2, no. 1, pp. 1–14, 2025, doi: 10.60036/sa6n0870.
- [14] N. Wisdayana, Achyani, and A. R. Aththibby, "Teaching Materials Based on Socio Scientific Issues: An Effective Strategy to Improve Science Literacy and Critical Thinking Skills," *J. Penelit. Pendidik. IPA*, vol. 11, no. 4, pp. 346–354, 2025, doi: 10.29303/jppipa.v11i4.10786.
- [15] N. S. S. Putri, V. Dermawan, and E. Yuliani, "Pemetaan Sebaran Kualitas Air Akibat Pencemaran Limbah Organik Pada Segmen Hilir dari Sub DAS Konto Hulu, Kabupaten Malang," *J. Teknol. dan Rekayasa Sumber Daya Air*, vol. 5, no. 2, pp. 1082–1092, 2025, doi: 10.21776/ub.jtresda.2025.005.02.103.

- [16] E. Novita, Y. Noviyana, H. A. Pradana, Indarto, and R. Nadzirah, "Kajian Dampak Pola Musim dan Perubahan Tata Guna Lahan Terhadap Kualitas Air Sungai Bedadung, Kabupaten Jember," *J. Pengendali. Pencemaran Lingkung.*, vol. 6, no. 2, pp. 33–43, 2024, doi: 10.35970/jppl.v7i1.2520.
- [17] S. Y. Chen and S. Y. Liu, "Developing students' action competence for a sustainable future: A review of educational research," *Sustain.*, vol. 12, no. 4, p. 1374, 2020, doi: 10.3390/su12041374.
- [18] B. C. Herman, "Students' environmental NOS views, compassion, intent, and action: Impact of place-based socioscientific issues instruction," *J. Res. Sci. Teach.*, vol. 55, no. 4, pp. 600–638, 2018, doi: 10.1002/tea.21433.
- [19] Y. N. Wijaya and J. G. Potalangi, "Kualitas Air Sungai Di Sulawesi Utara: Systematic Literature Review Ditinjau Dari Parameter Fisika, Kimia Dan Biologi," *TEKNO*, vol. 22, no. 90, pp. 2381–2389, 2024, doi: 10.35793/jts.v22i90.60641.
- [20] D. Rosarina and E. K. Laksanawati, "Studi Kualitas Air Sungai Cisadane Kota Tangerang Ditinjau Dari Parameter Fisika," *J. Redoks*, vol. 3, no. 2, pp. 38–43, 2018, doi: 10.31851/redoks.v3i2.2392.
- [21] E. D. Harmilia and E. Dharyati, "Kajian pendahuluan kualitas perairan fisika-kimia sungai ogan kecamatan indralaya kabupaten ogan ilir Sumatera Selatan," *Fiseries*, vol. 6, no. 1, pp. 7–11, 2018,
- [22] A. N. Safitri, Subiki, and S. Wahyuni, "Pengembangan Modul IPA Berbasis Kearifan Lokal pada Pokok Bahasan Usaha dan Energi di SMP," *J. Pembelajaran Fis.*, vol. 7, no. 1, pp. 22–29, 2018, doi: <https://doi.org/10.19184/jpf.v7i1.7221>.
- [23] K. Hadi and D. Dazrullisa, "Pengembangan bahan ajar biologi berbasis kearifan lokal," in *Prosiding Seminar Nasional Biologi, Teknologi dan Kependidikan*, 2019. doi: 10.22373/pbio.v6i1.4337.g2873.
- [24] N. Fitriani, I. Efendi, and B. M. Harisanti, "Pengembangan modul pembelajaran ipa berbasis kearifan lokal desa sembalun untuk peningkatan hasil belajar kognitif siswa MTs," *Biosci. J. Ilm. Biol.*, vol. 7, no. 1, pp. 68–78, 2019, doi: 10.33394/bioscientist.v7i1.2386.
- [25] A. C. Yusro and R. Ardania, "Upaya Peningkatan Hasil Belajar IPA Melalui Implementasi Pembelajaran Berdiferensiasi Model PjBL dengan Media Kartu," *J. Inov. Pendidik. Sains (JIPS)*, vol. 4, no. 1, pp. 1–9, 2023, doi: 10.37729/jips.v4i1.3109.
- [26] Y. Sari, H. Hendratno, G. Gunansyah, N. Mariana, and N. Suprpto, "Integrating Local Wisdom and Sustainable Development Goals," *J. Innov. Res. Prim. Educ.*, vol. 4, no. 3, pp. 977–986, 2025, doi: 10.56916/jirpe.v4i3.1488.
- [27] A. Haryadi, B. Patandjengi, and N. Hamid, "Analisis Keberlanjutan Agribisnis Paprika di Kabupaten Gowa(Studi Kasus Kelompok Tani Veteran Buluballea Malino)," *J. Sos. Ekon. Pertan.*, vol. 18, no. 3, pp. 211–231, 2022, doi: 10.20956/jsep.v18i3.21330.
- [28] N. Labibah, Herowati, J. N. Hidayat, and Habibi, "Eksplorasi Aktivitas Kehidupan Sehari-Hari Anak Nelayan di Desa Lobuk untuk Mendukung Pembelajaran IPA Kontekstual," *Edusains*, vol. 12, no. 2, pp. 266–275, 2020, doi: 10.15408/es.v12i2.14938.
- [29] M. E. Hancock, "Thinking qualitatively methods of mind: A review," *Qual. Rep.*, vol. 23, no. 9, pp. 2251–2253, 2018, doi: 10.46743/2160-3715/2018.3715.
- [30] T. O. Rose *et al.*, "Pelatihan Pembuatan Media Tanam Termodifikasi Menggunakan Limbah Popok Bayi Sebagai Upaya Pengembangan Kewirausahaan Ramah Lingkungan di Desa Permanu," *Bantenese J. Pengabd. Masy.*, vol. 7, no. 1, pp. 48–63, 2025, doi: 10.30656/ps2pm.v7i1.10015.
- [31] R. Lovina, S. Bahri, and L. Viruly, "Dampak Pencemaran Mikroplastik Pada Ikan, Kerang dan Sedimen Di Perairan Indonesia," *J. Pengendali. Pencemaran Lingkung.*, vol. 6, no. 2, pp. 9–18, 2024, doi: 10.35970/jppl.v6i2.2197.
- [32] F. M. Aisy, S. M. Sari, and L. Kasmini, "Sungai Bukan Tempat Sampah: Menyelamatkan Habitat Air Tawar Kita," *Edu Soc. J. Pendidikan, Ilmu Sos. dan Pengabd. Kpd. Masy.*, vol. 5, no. 2, pp. 1423–1432, 2025, doi: 10.56832/edu.v5i2.1524.
- [33] L. Rahayu, E. Kamal, A. Frinaldi, A. Razak, and W. Prarikeslan, "Analysis of the Impact of Batang Arau River Pollution on Communities and the Environment Around the River," *J. Kesehat. Cendikia Jenius*, vol. 2, no. 1, pp. 87–93, 2024, doi: 10.70920/jenius.v2i1.116.

- [34] A. Fitriyah, S. Syafrudin, and S. Sudarno, "Identifikasi Karakteristik Fisik Mikroplastik di Sungai Kalimas, Surabaya, Jawa Timur," *J. Kesehat. Lingkung. Indones.*, vol. 21, no. 3, pp. 350–357, 2022, doi: 10.14710/jkli.21.3.350-357.
- [35] A. Astuti and E. Frimawaty, "Dwiyitno.(2023). Karakteristik Sampah Sungai dan Perilaku Masyarakat Pesisir Terhadap Sampah Plastik di Kabupaten Cirebon: Studi Kasus di Sungai Pengarengan," *J. Ilmu Lingkung.*, vol. 21, no. 1, pp. 76–85, 2023, doi: 10.14710/jil.21.1.76-85.
- [36] A. I. Puspitasari, E. Novita, H. A. Pradana, B. H. Purnomo, and T. S. Rini, "Identifikasi Perilaku Dan Persepsi Masyarakat Terhadap Pencemaran Air Sungai Bedadung Di Jember, Jawa Timur (Identification of Communities Behavior and Perception on Water Pollution at Bedadung River in Jember, East Java)," *J. Penelit. Pengelolaan Drh. Aliran Sungai*, vol. 5, no. 1, pp. 89–104, 2021, doi: 10.20886/jppdas.2021.5.1.89-104.
- [37] E. A. M. Mu'arif and F. Lekahena, "Hubungan antara Sikap Kepedulian Lingkungan dan Perilaku Pro Lingkungan pada Produser Ikan Pindang di Desa Tanjungsari, Kendal, Jawa Tengah," *J. Psikol.*, vol. 20, no. 2, pp. 102–107, 2024
- [38] M. I. Effendi *et al.*, "Perilaku pro-lingkungan pada mahasiswa," *Yogyakarta Zahir Publ.*, 2020.
- [39] A. J. Mukti, "Masyarakat Dan Tindakan Menyimpang:(Studi Tentang Kebiasaan Masyarakat Membuang Sampah di Kali Gunting, Desa Sumobito, Kecamatan Sumobito)," *PANOPTIKON J. Ilmu Sos. dan Hum.*, vol. 1, no. 1, pp. 1–16, 2021, doi: 10.32492/panoptikon.v1i1.21.
- [40] Y. Zhang, C. Cai, Y. Gu, Y. Shi, and X. Gao, "Microplastics in plant-soil ecosystems: a meta-analysis," *Environ. Pollut.*, vol. 308, p. 119718, 2022, doi: 10.1016/j.envpol.2022.119718.
- [41] R. Kumar *et al.*, "Effect of physical characteristics and hydrodynamic conditions on transport and deposition of microplastics in riverine ecosystem," *Water*, vol. 13, no. 19, p. 2710, 2021, doi: 10.3390/w13192710.
- [42] M. N. Hakim and A. Nur, "Analisis Dampak Pencemaran Air Sungai Kahung terhadap Ekonomi Masyarakat Desa Belangian," *JIEP J. Ilmu Ekon. dan Pembang.*, vol. 3, no. 2, pp. 342–355, 2020,
- [43] M. A. R. Shah, A. Rahman, and S. H. Chowdhury, "Challenges for achieving sustainable flood risk management," *J. Flood Risk Manag.*, vol. 11, pp. S352–S358, 2018, doi: 10.1111%2Fjfr3.12211.
- [44] N. Gericke, "Teaching for the Anthropocene," in *Bildung, Knowledge, and Global Challenges in Education*, E. Krogh, A. Qvortrup, and S. T. Graf, Eds., London: Routledge, 2022, pp. 53–69. doi: 10.4324/9781003279365-5.
- [45] S. Kurniasih, A. D. Utami, and I. D. Pursitasari, "Development of Global Warming E-Module Based on Socio Scientific Issues (SSI) to Improve Students ' Critical Thinking Skills and Sustainability Awareness," *J. Penelit. Pendidik. IPA*, vol. 9, pp. 224–232, 2023, doi: 10.29303/jppipa.v9iSpecialIssue.6008.
- [46] J. R. Honra and S. L. C. Monterola, "Fostering cognitive flexibility of students through design thinking in biology education," *Cogent Educ.*, vol. 11, no. 1, pp. 1–14, 2024, doi: 10.1080/2331186X.2024.2415301.
- [47] E. S. Kurniawan, "Strategi Jembatan Konsep Analogi Untuk Meningkatkan PhyHOTS Peserta Didik Pada Pembelajaran Fisika," *J. Inov. Pendidik. Sains (JIPS)*, vol. 4, no. 1, pp. 26–35, 2023, doi: 10.37729/jips.v4i1.2023.
- [48] R. Zidny, J. Sjöström, and I. Eilks, "Correction to: A multi-perspective reflection on how indigenous knowledge and related ideas can improve science education for sustainability," *Sci. Educ.*, vol. 31, no. 1, pp. 265–266, 2022, doi: 10.1007/s11191-021-00194-2.
- [49] T. D. Sadler, W. L. Romine, and M. S. Topçu, "Learning science content through socio-scientific issues-based instruction: A multi-level assessment study," *Int. J. Sci. Educ.*, vol. 38, no. 10, pp. 1622–1635, 2016, doi: 10.1080/09500693.2016.1204481.
- [50] O. Sulistina, A. Purwandari, S. A. Deaningtyas, S. A. Putrikundia, and N. I. Faradillah, "Peran Pendekatan Socio-Scientific Issue (SSI) dalam Meningkatkan Scientific Literacy pada Pembelajaran Kimia," *UNESA J. Chem. Educ.*, vol. 13, no. 2, pp. 118–128, 2024, doi: 10.26740/ujced.v13n2.p118-128.

- [51] V. C. Gurning and G. H. Selaras, "Implementasi problem-based learning berbasis education for sustainable development terhadap kemampuan berpikir kritis peserta didik," *Bio-Pedagogi*, vol. 14, no. 1, p. 27, 2025, doi: 10.20961/bio-pedagogi.v14i1.88657.