

INTEGRASI DATA AUDIT SAMPAH KAMPUS DAN PERILAKU CIVITAS AKADEMIKA SEBAGAI SUMBER BELAJAR AUTENTIK BIOLOGI LINGKUNGAN

Giena Sitha Supriatna¹, Lia Yulisma¹, Taufik Martha², Reysya Meilandasari¹, Desti Kuswayanti¹

¹Program Studi Pendidikan Biologi, Universitas Galuh, Jl. R. E. Martadinata No. 150, Ciamis, Indonesia

²Program Studi Teknik Sipil, Universitas Galuh, Jl. R. E. Martadinata No. 150, Ciamis, Indonesia

Email: gienassupriatna@unigal.ac.id

ABSTRACT

Campus solid waste management presents ecological challenges alongside strategic opportunities for contextual environmental education. This study aims to analyze the physical characteristics of campus waste, evaluate facility conditions and waste sorting behaviors among the academic community, and map the utilization of these empirical findings as authentic learning resources for Environmental Biology. This exploratory mixed-methods study using an explanatory sequential design integrates a waste audit across three strategic locations at Universitas Galuh (FKIP Building, Campus Mosque, and Canteen) conducted for three consecutive days during active lecture hours (Wednesday, Thursday, and Friday) based on six material subcategories, alongside field observations of facility conditions and sorting behaviors. The audit results revealed a total accumulated net weight of 27.746 kg, heavily dominated by inorganic waste (60.95%), specifically non-PET plastics/cups (29.38%) and paper/cardboard (25.16%), followed by organic waste (23.44%) and residue (15.61%). Observational findings indicated a lack of well-maintained facilities, high rates of cross-contamination, and suboptimal self-sorting habits. Integrating this waste flow data serves as a strategic foundation for data-driven learning to bridge theoretical understanding with students' real-world ecological actions.

Keywords: *Authentic learning resources, campus waste audit, environmental biology, sustainability literacy, waste composition.*

ABSTRAK

Pengelolaan sampah di perguruan tinggi menghadirkan tantangan ekologis sekaligus peluang strategis bagi pembelajaran lingkungan yang kontekstual. Penelitian ini bertujuan menganalisis karakteristik fisik sampah kampus, mengevaluasi kondisi fasilitas dan perilaku pemilahan civitas akademika, serta memetakan pemanfaatan temuan empiris tersebut sebagai sumber belajar autentik Biologi Lingkungan. Studi eksploratif berbasis *mixed-methods* dengan desain sekuensial eksplanatori ini memadukan audit sampah di tiga lokasi strategis Universitas Galuh (Gedung FKIP, Masjid Kampus, dan Kantin) yang dilaksanakan selama tiga hari pada hari aktif perkuliahan (Rabu, Kamis, dan Jumat) berdasarkan 6 sub-kategori material, serta observasi lapangan terhadap kondisi fasilitas dan perilaku pemilahan. Hasil audit menunjukkan total akumulasi berat bersih sampah mencapai 27,746 kg, didominasi kelompok anorganik (60,95%), khususnya plastik non-PET/gelas cup (29,38%) dan kertas/karton (25,16%), disusul sampah organik (23,44%) serta residu (15,61%). Hasil observasi menunjukkan minimnya fasilitas yang terawat, tingginya kontaminasi silang, serta belum optimalnya kebiasaan pemilahan mandiri. Integrasi data alur sampah ini menjadi pijakan strategis bagi pembelajaran berbasis data (*data-driven learning*) untuk menjembatani pemahaman teoritis dengan aksi ekologis nyata mahasiswa.

Kata Kunci: *Audit sampah kampus, biologi lingkungan, karakteristik sampah, literasi keberlanjutan, sumber belajar autentik.*

Cara sitasi: Supriatna, G. S., Yulisma, L., Martha, T., Meilandasari, R., & Kuswayanti, D. (2026). Integrasi Data Audit Sampah Kampus dan Perilaku Civitas Akademika Sebagai Sumber Belajar Autentik Biologi Lingkungan. *BIOED: Jurnal Pendidikan Biologi*, 14(2), 268-274. DOI: <http://dx.doi.org/10.25157/jpb.v14i2.27121>

PENDAHULUAN

Meningkatnya timbunan sampah, pencemaran ekosistem, serta perubahan iklim merupakan deretan permasalahan lingkungan global yang menuntut penanganan multisektoral terpadu. *United Nations Environment Programme* (UNEP) menyoroti bahwa kebiasaan konsumsi linear yang tidak diimbangi pengelolaan sampah memadai menjadi pemicu utama kerusakan lingkungan dan lonjakan emisi gas rumah kaca (UNEP, 2024). Di lingkungan perguruan tinggi, tingginya aktivitas civitas akademika turut berkontribusi signifikan terhadap volume timbunan limbah harian yang, jika tidak dikelola secara sistematis, akan memperburuk jejak ekologis kampus (Ellado et al., 2024). Menanggapi krisis tersebut, *United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization* (UNESCO) merumuskan kerangka *Education for Sustainable Development* (ESD) untuk meredefinisi peran lembaga pendidikan, dari yang semula sekadar mentransfer teori menjadi wadah pembentukan kompetensi aksi konkrit (UNESCO, 2017). Pendekatan ESD ini beririsan langsung dengan *Sustainable Development Goals* (SDGs), terutama Poin 4 mengenai pendidikan berkualitas dan Poin 12 tentang konsumsi serta produksi yang bertanggung jawab (United Nations, 2015). Dalam kerangka ini, perguruan tinggi mengemban posisi strategis untuk membentuk akademisi berwawasan *sustainability literacy*, yaitu individu yang dibekali pemahaman ekologis, daya kritis, serta komitmen perilaku ramah lingkungan secara berkelanjutan (Parkin et al., 2004; Wiek et al., 2011; Akinsemolu & Onyeaka, 2025).

Sebagai institusi yang berkomitmen pada pembangunan berkelanjutan, Universitas Galuh telah meluncurkan program *Green Campus* melalui inisiatif HiBBer (Hijau, Bersih, dan Berkelanjutan) (Universitas Galuh, 2025). Berdasarkan Laporan HiBBer Universitas Galuh Tahun 2025, estimasi timbunan sampah tahunan di area kampus mencapai 4,944 ton sampah organik dan 17,05 ton sampah anorganik yang berasal dari aktivitas perkuliahan, kantin, serta kegiatan kemahasiswaan (Universitas Galuh, 2025). Meskipun berbagai upaya mitigasi seperti pembuatan komposter, pemanfaatan eco-enzyme, dan kampanye pengurangan plastik sekali pakai telah digulirkan, pengelolaan sampah di tingkat tapak masih menghadapi kendala operasional. Hambatan utamanya meliputi belum optimalnya pemilahan mandiri oleh civitas akademika dan belum optimalnya pemanfaatan data empiris pengelolaan sampah kampus tersebut sebagai konteks pembelajaran dalam perkuliahan resmi.

Di sisi lain, pembelajaran Biologi Lingkungan pada program studi pendidikan biologi di perguruan tinggi sejauh ini masih didominasi oleh pembelajaran teoritis dengan penggunaan contoh kasus yang bersifat umum, abstrak, atau simulatif (Fitriani et al., 2023). Kondisi ini menciptakan kesenjangan kognitif dan afektif, di mana mahasiswa mampu menghafal konsep pencemaran dan daur ulang material tetapi gagal mengenali fenomena ekologis yang terjadi di sekitar lingkungan kampus mereka sendiri (Kjelvik & Schultheis, 2019). Padahal, lingkungan kampus menyimpan potensi melimpah sebagai sumber belajar autentik melalui pendekatan *data-driven contextual learning* (Siregar et al., 2024). Penggunaan data autentik hasil audit lingkungan terbukti mampu meningkatkan kemampuan berpikir kritis, *data literacy*, serta kepekaan lingkungan peserta didik secara signifikan (Kjelvik & Schultheis, 2019; Solihat et al., 2024).

Sejumlah penelitian terdahulu telah mengeksplorasi pengembangan media pembelajaran biologi lingkungan berbasis potensi lokal maupun isu lingkungan. Siregar et al. (2024) mengembangkan e-modul berbasis *Contextual Teaching and Learning* (CTL), sementara Anggyani et al. (2023) merancang e-modul literasi lingkungan pada materi ekosistem. Selain itu, kajian mengenai pengelolaan sampah kampus telah banyak dieksplorasi oleh Debrah et al. (2021) dan Solihat et al. (2024), namun mayoritas studi tersebut lebih berfokus pada aspek teknis operasional pengelolaan atau proyek rekayasa STEM secara umum. Berdasarkan telaah dari berbagai penelitian terdahulu yang dirujuk, penelitian ini menawarkan kebaruan (*novelty*) berupa integrasi kuantitatif karakteristik timbunan sampah riil hasil audit kampus dan analisis kualitatif perilaku civitas akademika secara spesifik ke dalam rancangan sumber belajar autentik (e-modul berbasis *data-driven contextual learning*) untuk matakuliah Biologi Lingkungan.

Penelitian ini bertujuan untuk: (1) menganalisis komposisi kuantitatif berat bersih timbunan

sampah kampus berdasarkan 6 sub-kategori material pada lokasi sentral aktivitas kampus, (2) mengevaluasi ketersediaan sarana pemilahan dan perilaku ekologis civitas akademika di lapangan, serta (3) memetakan relevansi temuan empiris tersebut sebagai sumber belajar autentik yang kontekstual bagi mahasiswa. Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi nyata bagi pengembangan kurikulum biologi yang responsif terhadap isu keberlanjutan kampus.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan pendekatan kombinasi (*mixed-methods*) dengan desain sekuensial eksplanatori (*explanatory sequential design*). Desain ini dipilih karena penelitian diawali dengan pengumpulan dan analisis data kuantitatif (karakteristik fisik dan komposisi timbunan sampah) untuk kemudian diperdalam dan dielaborasi secara kualitatif (observasi perilaku civitas akademika dan kondisi fasilitas), guna memetakan temuan empiris tersebut sebagai sumber belajar autentik. Penelitian dilaksanakan di Universitas Galuh, Kabupaten Ciamis, Jawa Barat, dengan mengambil tiga titik lokasi sampling yang memiliki tingkat kepadatan aktivitas tinggi, yaitu Gedung Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan (FKIP), Masjid Kampus, dan Area Kantin. Pengambilan data primer dilaksanakan selama tiga hari pada hari aktif perkuliahan di bulan Juli 2026, yang mencakup dinamika aktivitas harian civitas akademika pada hari Rabu, Kamis, dan Jumat.

Prosedur pengumpulan data kuantitatif dilakukan melalui kegiatan audit pemilahan dan penimbangan berat bersih (*net weight*) timbunan sampah pada wadah penampungan akhir di setiap lokasi sampling. Metode audit mengacu pada standar karakterisasi sampah yang dikembangkan oleh *Global Alliance for Incinerator Alternatives* (GAIA et al., 2019). Timbunan sampah dikelompokkan ke dalam 3 kategori makro dan terbagi menjadi 6 sub-kategori material, meliputi: (1) Sampah Organik Sisa Makanan, (2) Sampah Kebun/Serasah, (3) Sampah Anorganik Botol Plastik (PET), (4) Sampah Plastik Lain & Gelas Cup, (5) Sampah Kertas & Karton, serta (6) Sampah Residu Plastik Saset & Tisu. Penimbangan dilakukan menggunakan timbangan digital berpresisi tinggi dengan satuan kilogram (kg).

Pengumpulan data kualitatif dilakukan secara paralel melalui teknik observasi terstruktur dan dokumentasi foto di area penampungan sampah ketiga lokasi tersebut. Instrumen yang digunakan untuk mengukur aspek perilaku dan kondisi fasilitas di lapangan berupa lembar ceklis observasi terstruktur yang telah divalidasi secara isi. Pengamatan kualitatif difokuskan pada tiga indikator utama, yaitu: (1) ketersediaan, rasio, dan keterjangkauan wadah tempat sampah terpilah di titik-titik strategis; (2) tingkat kesadaran praktis dan pola perilaku pemilahan mandiri (*waste sorting behavior*) oleh mahasiswa, dosen, dan staf; serta (3) kondisi fisik, higienitas, integritas penutup, dan perawatan wadah sampah (reseptakel).

Data kuantitatif hasil penimbangan sampah dianalisis secara statistik deskriptif untuk menghitung total akumulasi berat bersih (kg), rata-rata harian, serta persentase proporsi tiap sub-kategori material. Data kualitatif hasil observasi dianalisis menggunakan teknik analisis deskriptif interaktif melalui tahapan reduksi data (*data reduction*), penyajian data (*data display*), dan penarikan kesimpulan (*conclusion drawing*). Selanjutnya, keseluruhan temuan kuantitatif dan kualitatif disintesis secara komprehensif untuk memetakan potensinya sebagai muatan materi pembelajaran kontekstual (*waste flow analysis*) dalam pembelajaran Biologi Lingkungan. Prinsip penyusunan sumber belajar autentik ini berlandaskan pada pendekatan pembelajaran kontekstual dan pendidikan untuk pembangunan berkelanjutan (*Education for Sustainable Development / ESD*). Kompetensi dasar yang harus dicapai oleh mahasiswa melalui sumber belajar ini mencakup penguasaan konsep ekologi (pencemaran lingkungan, alur materi dan energi, serta *Life Cycle Assessment*) serta peningkatan kemampuan *sustainability literacy* (yang mencakup domain kognitif, afektif, hingga komitmen aksi ekologis nyata).

HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Analisis Kuantitatif Komposisi Berat Bersih Sampah Kampus

Berdasarkan hasil pengumpulan data lapangan selama 3 hari sampling di Gedung FKIP, Masjid Kampus, dan Kantin Universitas Galuh, diperoleh akumulasi total berat bersih sampah sebesar 27,746 kg. Distribusi kuantitatif berat material berdasarkan 6 sub-kategori beserta persentase kontribusinya disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Komposisi Kuantitatif Berat Bersih Sampah Kampus (kg)

Kategori Makro	Sub-Kategori Material	Hari ke-1 (Jumat)	Hari ke-2 (Kamis)	Hari ke-3 (Rabu)	Total Akumulasi (kg)	Persentase (%)
Organik	1. Sisa Makanan	1,168	1,294	0,786	3,248	11,71%
Organik	2. Sampah Kebun / Serasah	2,568	0,140	0,546	3,254	11,73%
Anorganik	3. Botol Plastik (PET)	0,614	0,512	0,652	1,778	6,41%
Anorganik	4. Plastik Lain & Gelas Cup	4,004	2,200	1,948	8,152	29,38%
Anorganik	5. Kertas & Karton	2,760	2,774	1,446	6,980	25,16%
Residu	6. Plastik Saset & Tisu	1,502	1,442	1,390	4,334	15,61%
Grand Total		12,616	8,362	6,768	27,746	100,00%

Data pada Tabel 1 menunjukkan bahwa struktur timbulan sampah di Universitas Galuh secara dominan dikuasai oleh kelompok sampah anorganik dengan proporsi kumulatif mencapai 60,95% (16,910 kg). Sub-kategori Plastik Lain & Gelas Cup menjadi penyumbang terbesar yaitu 29,38% (8,152 kg), disusul oleh Kertas & Karton sebesar 25,16% (6,980 kg). Sampah organik menyumbang 23,44% (6,502 kg) yang terbagi seimbang antara sisa makanan (11,71%) dan serasah kebun (11,73%). Sementara itu, kelompok sampah residu berupa saset berlapis foil dan tisu mencapai 15,61% (4,334 kg).

Tingginya persentase limbah plastik sekali pakai (*single-use plastics*) dan gelas minuman mengindikasikan tingkat ketergantungan civitas akademika yang sangat kuat terhadap produk kemasan *non-biodegradable* dalam keseharian mereka di kampus. Temuan pengamatan fisik menunjukkan sebagian besar limbah plastik anorganik ini berada dalam kondisi basah dan terkontaminasi oleh sisa cairan manis dan minyak sisa makanan basah. Pencampuran organik dan anorganik basah ini tidak hanya secara drastis menurunkan nilai ekonomi bahan daur ulang (*recyclability*), namun juga berpotensi mempercepat proses pembusukan anaerobik yang menghasilkan gas metana (UNEP, 2024). Hal ini sejalan dengan penelitian Ellado et al. (2024), yang menegaskan bahwa dominasi sampah plastik tak terpilah pada institusi pendidikan tinggi menjadi penyumbang signifikan masalah jejak karbon ekologis jika tidak ditangani dari sumbernya.

2. Evaluasi Kualitatif Sarana dan Perilaku Ekologis Civitas Akademika

Hasil observasi kualitatif terhadap keberadaan fasilitas tempat sampah dan perilaku pemilahan civitas akademika mengungkapkan tiga permasalahan empiris utama di lapangan beserta akar penyebab dan proyeksi solusinya:

- 1) **Ketersediaan Sarana Pemilahan:** Pada beberapa area sentral, fasilitas tempat sampah terpilah memang telah disediakan. Namun, distribusinya tidak merata dan di beberapa titik

transisi (seperti selasar dan lorong) hanya dijumpai wadah tunggal tanpa sekat. Sebagai solusi operasional yang sejalan dengan komitmen institusi terhadap pembangunan berkelanjutan melalui program *Green Campus* inisiatif HiBBer (Hijau, Bersih, dan Berkelanjutan) Universitas Galuh (2025), institusi perlu melakukan standardisasi penempatan wadah terpilah di seluruh zona aktivitas padat, disertai penguatan regulasi larangan penggunaan plastik sekali pakai di area kampus.

- 2) **Perilaku Pemilahan Mandiri Civitas Akademika:** Indikator tingkat kesadaran pemilahan mandiri (*waste sorting behavior*) oleh civitas akademika tergolong masih rendah, di mana sampah di dalam wadah terpilah masih tercampur acak. Faktor penyebab utamanya adalah lemahnya internalisasi budaya bersih dan minimnya pengawasan operasional harian. Rencana solusinya tidak hanya berfokus pada penyediaan infrastruktur fisik, tetapi juga melalui intervensi pedagogis, yakni menjadikan realitas perilaku ini sebagai studi kasus nyata di dalam kelas agar mahasiswa secara sadar merefleksikan kebiasaan ekologis mereka (Uye & Olapegba, 2025).
- 3) **Kondisi Fisik dan Higienitas Tempat Sampah:** Kondisi fasilitas terpantau kurang terawat, tidak memiliki penutup fungsional, dan sering meluber pada jam-jam puncak aktivitas. Penyebab kerusakan dan luberan ini adalah tingginya rasio volume harian yang tidak sebanding dengan kapasitas tampung serta lambatnya jadwal pengangkutan oleh petugas kebersihan. Solusi jangka pendek yang mendesak adalah peremajaan wadah tertutup yang ergonomis serta penjadwalan pengangkutan yang disesuaikan dengan jam istirahat kuliah.



Gambar 1. Kondisi tempat sampah di area FKIP dan masjid kampus

Fenomena ini membuktikan adanya kesenjangan (gap) yang nyata antara penguasaan teoritis mahasiswa akan isu lingkungan dengan tindakan ekologis aktualnya. Penelitian Putri, Hidayat, dan Supriatno (2023) menyebutkan bahwa literasi keberlanjutan (*sustainability literacy*) di tingkat pelajar dan mahasiswa saat ini cenderung hanya sampai di tahap domain kognitif, namun kualitas tindakan afektif (sikap keseharian) masih berada pada kategori yang rendah (*bad category*).

3. Sintesis Temuan Sampah Kampus sebagai Sumber Belajar Autentik Biologi Lingkungan

Kurangnya penanganan fisik pemilahan limbah di area kampus menegaskan bahwa pendekatan edukasi ekologi konvensional tidak cukup untuk menginternalisasikan nilai-nilai keberlanjutan. Pendidikan Biologi Lingkungan membutuhkan media yang dapat mengontekstualisasikan wacana teori pencemaran abstrak ke dalam persoalan terdekat yang disaksikan oleh para peserta didik (Fitriani et al., 2023).

Oleh karena itu, temuan empiris berupa data kuantitatif komposisi sampah (Tabel 1) dan potret kualitatif perilaku civitas akademika ditransformasikan secara langsung menjadi sumber belajar autentik dalam bentuk e-modul berbasis *data-driven contextual learning*. Di dalam sumber belajar ini, mahasiswa tidak hanya mempelajari konsep teoretis pencemaran lingkungan atau daur biogeokimia secara abstrak, tetapi dilibatkan dalam kegiatan praktis berupa *waste flow analysis* (analisis alur sampah kampus) dan simulasi *Life Cycle Assessment* (LCA) sederhana berdasarkan data riil dari tempat mereka berkuliah sehari-hari. Pelibatan data autentik terbukti efektif dalam menjembatani pemahaman kognitif dengan keterampilan literasi data (Kjelvik & Schultheis, 2019).

Terintegrasinya modul pembelajaran berbasis ekosistem kampus ini terbukti menjadi instrumen krusial dari *Green Education*. Mengutip kajian Akinsemolu dan Onyeaka (2025), penerapan pendidikan berbasis lingkungan lokal kampus berdampak fundamental terhadap pembentukan *sustainability consciousness* dan keterampilan nyata dalam mengawal Tujuan Pembangunan Berkelanjutan (SDGs). Pemahaman dan aksi mitigasi masalah timbulan sampah di tempat mereka belajar ini kelak diyakini mampu mencetak akademisi Biologi yang andal dalam mendorong eksekusi program Kampus Hijau (Green Campus) Universitas Galuh secara berkelanjutan.

KESIMPULAN

Karakteristik timbulan sampah di Universitas Galuh berdasarkan hasil audit 3 hari sampling terakumulasi sebesar 27,746 kg dengan dominasi sampah anorganik (60,95%), khususnya plastik lain/gelas cup (29,38%) dan kertas/karton (25,16%), disusul sampah organik (23,44%) dan residu (15,61%). Evaluasi kualitatif menunjukkan belum optimalnya kesadaran pemilahan mandiri civitas akademika serta keterbatasan fasilitas tempat sampah terpilah yang terawat. Data empiris dan fenomena perilaku ini memiliki potensi yang sangat kuat untuk dimanfaatkan sebagai sumber belajar autentik dalam pembelajaran Biologi Lingkungan berbasis *data-driven contextual learning*. Integrasi data riil sampah kampus ke dalam bahan ajar dapat menjembatani teori ekologi dengan aksi nyata guna meningkatkan *sustainability literacy* mahasiswa Pendidikan Biologi.

REKOMENDASI

Berdasarkan temuan penelitian, direkomendasikan agar institusi dapat menambah dan merawat fasilitas tempat sampah terpilah bertutup di titik-titik strategis. Bagi pengampu mata kuliah Biologi Lingkungan, disarankan untuk mengintegrasikan data audit sampah kampus ini sebagai bahan kajian dalam pengembangan bahan ajar interaktif (seperti e-modul) agar pembelajaran menjadi lebih kontekstual, reflektif, dan berdampak pada perubahan perilaku ekologis mahasiswa.

UCAPAN TERIMA KASIH

Tim peneliti menyampaikan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada Lembaga Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat (LPPM) Universitas Galuh atas dukungan pendanaan penelitian melalui Skema Riset Dosen Pemula (RDP) Tahun Anggaran 2026, serta kepada seluruh pihak yang telah membantu kelancaran pelaksanaan penelitian di lapangan.

DAFTAR PUSTAKA

- Akinsemolu, A. A., & Onyeaka, H. (2025). The role of green education in achieving the sustainable development goals: A review. *Scientific African*, e01844. <https://doi.org/10.1016/j.sciaf.2024.e01844>
- Anggyani, T., Ilhami, A., Ilahi, P. R., & Rahmat, A. (2023). E-modul berbasis literasi lingkungan pada materi ekosistem untuk meningkatkan literasi lingkungan siswa. *Journal of Natural Science Learning*, 2(1), 1-7.

- Davis, E. A., & Linn, M. C. (2000). Scaffolding students' knowledge integration: Prompts for reflection in KIE. *International Journal of Science Education*, 22(8), 819–837. <https://doi.org/10.1080/095006900412293>
- Debrah, J. K., Vidal, D. G., & Dinis, M. A. P. (2021). Raising awareness on solid waste management through formal education for sustainability: A developing countries evidence review. *Recycling*, 6(1), 6, 1-22. <https://doi.org/10.3390/recycling6010006>
- Ellado, G. A., et al. (2024). Estimation of solid waste generation and characterization in a university campus towards sustainable waste management. *International Journal of Research in Engineering and Science*, 12(3), 45-56.
- Fitriani, D., Hidayat, T., & Suryanda, A. (2023). Environmental data-based learning to improve students' critical thinking skills in ecology learning. *Jurnal Pendidikan Biologi Indonesia*, 9(2), 356-365. <https://doi.org/10.22219/jpbi.v9i2.25908>
- GAIA, Mother Earth Foundation, & YPBB. (2019). *Buku manual studi timbulan dan komposisi sampah serta brand audit*. Bandung: YPBB.
- Kjelvik, M. K., & Schultheis, E. H. (2019). Getting messy with authentic data: Exploring the potential of using data from scientific research to support student data literacy. *CBE—Life Sciences Education*, 18(2), es2, 1-8. <https://doi.org/10.1187/cbe.18-02-0023>
- Parkin, S., Johnston, A., Buckland, H., Brookes, F., & White, E. (2004). *Learning and skills for sustainable development: Developing a sustainability literate society*. London: Forum for the Future.
- Prasetyo, Z. K., Suyanta, S., & Wilujeng, I. (2022). Digital environmental learning to support sustainability awareness in higher education students. *Journal of Innovation in Educational and Cultural Research*, 3(4), 587-595. <https://doi.org/10.46843/jiecr.v3i4.231>
- Putri, A. A., Hidayat, T., & Supriatno, B. (2023). Senior high school students perception on sustainability literacy in biology learning. *Jurnal Penelitian Pendidikan IPA*, 9(7), 5737–5744. <https://doi.org/10.29303/jppipa.v9i7.3705>
- Remindima, F. N. L., Al-Muhdhar, M. H. I., & Suhadi, S. (2024). Pengembangan e-module keanekaragaman hayati bermuatan potensi lokal Sumba berbasis inkuiri terbimbing dengan pendekatan JAS untuk meningkatkan literasi lingkungan siswa SMA. *Bioscientist: Jurnal Ilmiah Biologi*, 12(2), 2145-2158. <https://doi.org/10.3390/bioscientist.v12i2.11684>
- Siregar, T., Silaban, S., & Yus, A. (2024). Development of a science e-module based on contextual teaching and learning for primary school students. *Inovasi Kurikulum*, 21(4), 2125-2140. <https://doi.org/10.17509/jik.v21i4.75211>
- Solihat, R., Haqiqi, B. Y., & Widodo, A. (2024). Waste to energy: A STEM-ESD approach to improve student awareness and action in converting waste into eco-friendly energy. *Jurnal Pendidikan Biologi Indonesia*, 10(3), 1072-1085. <https://doi.org/10.22219/jpbi.v10i3.35796>
- UNEP. (2024). *Global waste management outlook 2024: Beyond an age of waste - Turning rubbish into a resource*. Nairobi: United Nations Environment Programme.
- UNESCO. (2017). *Education for sustainable development goals: Learning objectives*. Paris: UNESCO Publishing.
- United Nations. (2015). *Transforming our world: The 2030 agenda for sustainable development*. New York: United Nations General Assembly.
- Universitas Galuh. (2025). *Laporan HiBBer (Hijau, Bersih, dan Berkelanjutan) Universitas Galuh Tahun 2025*. Ciamis: UPT Konservasi, Budaya, dan Bahasa Universitas Galuh.
- Uye, E. E., & Olapegba, P. O. (2025). Waste sorting behavior among students: Testing the effects of visual prompts. *International Journal of Research and Community Empowerment*, 3(1), 38-47. <https://doi.org/10.58706/ijorce.v3n1.p38-47>
- Wiek, A., Withycombe, L., & Redman, C. L. (2011). Key competencies in sustainability: A reference framework for academic program development. *Sustainability Science*, 6(2), 203-218. <https://doi.org/10.1007/s11625-011-0132-6>