JOICHE

Journal of Industrial Process and Chemical Engineering

Jurnal homepage : ejurnal.itats.ac.id/JOICHE

Kajian Literatur Life Cycle Assessment (LCA) Taman Hutan Raya (Tahura) R. Soerjo Jawa Timur dan perbandingannya dengan Tahura Lain di Indonesia dari Perspektif Limbah Pabrik

ABDUL HAMID[1], RATNA DEWI JUDHASWATI[2], YANGSRI ROMADONA[3], LINDA WIGE NINGRUM[4], ANISWATUL KHAMIDAH[5]*

1-3 Badan Riset dan Inovasi Daerah (BRIDA) Provinsi Jawa Timur

4 Pusat Riset Ekologi dan Etnobiologi-BRIN

5 Pusat Riset Teknologi dan Proses Pangan

INFORMASI ARTIKEL

Halaman:
56 – 65

Tanggal penyerahan:
25 Mei 2025

Tanggal diterima:
29 Juni 2025

Tanggal terbit:
29 Juli 2025

EMAIL

***corresponding author**

[1]abdulhamid.196078@gmail.com*

ABSTRACT

Taman Hutan Raya (Tahura) plays an important role in conservation and ecological balance, especially in the context of environmental pressures due to industrial activities. This research is a literature review comparing the application of Life Cycle Assessment (LCA) at R. Soerjo Forest Park in East Java with several other Forest Parks in Indonesia, with a specific focus on the impact of factory waste in the surrounding area. The objective of this research is to identify the environmental impacts caused by factory waste and how the LCA approach can provide recommendations for sustainable management. The research results show that Tahura R. Soerjo faces significant pressure from industrial activities in its vicinity, particularly from factories in the Mojokerto and Pasuruan regions, compared to other Tahura areas that are relatively more sterile from industrial pollution. This research recommends the integration of LCA in the planning and management of Tahura for the systematic mitigation of factory waste impacts.

Keywords: *Life Cycle Assessment, Tahura R. Soerjo, factory waste, conservation, environmental impact, literature review*

ABSTRAK

Taman Hutan Raya (Tahura) memiliki peran penting dalam konservasi dan keseimbangan ekologis, terutama dalam konteks tekanan lingkungan akibat aktivitas industri. Penulisan ini merupakan kajian literatur yang membandingkan penerapan Life Cycle Assessment (LCA) pada Tahura R. Soerjo di Jawa Timur dengan beberapa Tahura lain di Indonesia, dengan fokus khusus pada pengaruh limbah pabrik di sekitar kawasan tersebut. Tujuan penulisan ini adalah untuk mengidentifikasi dampak lingkungan yang ditimbulkan oleh limbah pabrik dan bagaimana pendekatan LCA dapat memberikan rekomendasi pengelolaan berkelanjutan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa Tahura R. Soerjo menghadapi tekanan signifikan dari aktivitas industri di sekitarnya, khususnya dari pabrik di wilayah Mojokerto dan Pasuruan, dibandingkan dengan Tahura lain yang relatif lebih steril dari polusi industri. Penulisan ini memberi rekomendasi integrasi LCA dalam perencanaan dan pengelolaan Tahura untuk mitigasi dampak limbah pabrik secara sistematis.

Kata kunci : Life Cycle Assessment, Tahura R. Soerjo, limbah pabrik, konservasi, dampak lingkungan, kajian literatur

PENDAHULUAN

Taman Hutan Raya (Tahura) merupakan kawasan konservasi yang memiliki peran penting dalam menjaga kelestarian ekosistem hutan dan keanekaragaman hayati di Indonesia [1]. Dengan cakupan wilayah yang luas dan tersebar dari Sumatera hingga Papua, Tahura menjadi titik penting dalam pelestarian fungsi ekologis, edukatif, serta sosial budaya [2]. Namun, tidak semua Tahura berada dalam kondisi ekologi yang ideal; banyak di antaranya menghadapi tekanan dari aktivitas manusia dan industri.

Salah satu contoh nyata adalah Tahura R. Soerjo yang terletak di Provinsi Jawa Timur dan mencakup wilayah administrasi Kota Batu, Kabupaten Mojokerto, dan Kabupaten Pasuruan. Kawasan ini tidak hanya dikelilingi oleh pemukiman padat penduduk, tetapi juga oleh beragam industri, seperti industri makanan, kimia, serta homestay wisata yang menghasilkan limbah dalam jumlah signifikan [3]. Aktivitas industri di sekitar kawasan tersebut berpotensi besar mencemari udara, air, serta tanah yang menjadi bagian integral dari sistem ekologi hutan [4].

Life Cycle Assessment (LCA) merupakan pendekatan ilmiah berbasis siklus hidup yang digunakan untuk mengevaluasi dampak lingkungan dari suatu produk, proses, atau aktivitas [5]. LCA membantu dalam memetakan sumber pencemaran, jalur penyebaran limbah, serta menilai dampaknya terhadap berbagai komponen lingkungan seperti biodiversitas, kualitas udara, dan kesehatan tanah [6]. Meskipun telah banyak diterapkan pada kawasan konservasi lain di Indonesia, seperti Tahura Ir. H. Djuanda dan Tahura Bukit Barisan, penerapan LCA secara menyeluruh di Tahura R. Soerjo masih sangat terbatas [7].

Kajian ini bertujuan untuk melakukan telaah literatur terkait penerapan LCA di Tahura R. Soerjo serta membandingkannya dengan beberapa Tahura lain di Indonesia dari perspektif dampak limbah pabrik. Harapannya, kajian ini dapat memberikan arah kebijakan yang lebih efektif dalam pengelolaan lingkungan berbasis data ilmiah dan pendekatan berkelanjutan [8].

METODE

Penelitian ini dilakukan menggunakan metode **kajian literatur sistematis (systematic literature review)** dengan pendekatan **kualitatif deskriptif**. Kajian ini bertujuan untuk mengidentifikasi, menganalisis, dan membandingkan informasi yang relevan mengenai penerapan pendekatan Life Cycle Assessment (LCA) di Tahura R. Soerjo dan beberapa Tahura lainnya di Indonesia dalam konteks dampak limbah pabrik terhadap lingkungan [9].

1. Sumber Data

Data sekunder diperoleh dari berbagai publikasi ilmiah dan dokumen resmi yang relevan, meliputi:

- Artikel jurnal nasional dan internasional yang dipublikasikan dalam 10 tahun terakhir (2013–2023) [10]
- Laporan instansi pemerintah seperti Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan, Bappedas, dan BLH Provinsi [11]
- Dokumen AMDAL (Analisis Mengenai Dampak Lingkungan) yang tersedia secara daring
- Tesis dan disertasi dari perguruan tinggi yang relevan dengan tema LCA dan konservasi kawasan hutan [12]

2. Kriteria Inklusi dan Eksklusi

Literatur yang dimasukkan dalam kajian ini harus memenuhi kriteria sebagai berikut:

- Membahas penerapan Life Cycle Assessment (LCA) atau metode serupa pada kawasan konservasi atau kawasan hutan [13]

- Mengkaji dampak limbah industri atau aktivitas manusia terhadap ekosistem hutan atau kawasan konservasi
- Memuat data atau analisis yang relevan secara geografis dengan kawasan Tahura di Indonesia
- Dipublikasikan dalam bahasa Indonesia atau Inggris antara tahun 2013–2025

Sementara itu, literatur yang tidak memiliki akses terbuka atau tidak dapat diverifikasi validitasnya dikeluarkan dari kajian ini.

3. Teknik Analisis Data

Analisis data dilakukan dengan menggunakan pendekatan **analisis tematik** dan **perbandingan antar-kasus (cross-case comparison)**. Setiap literatur yang dikaji dianalisis berdasarkan tiga parameter utama:

- Dampak limbah pabrik terhadap ekosistem Tahura
- Tingkat dan bentuk penerapan LCA di masing-masing Tahura
- Kebijakan dan praktik pengelolaan lingkungan berdasarkan hasil LCA atau analisis dampak

Data kemudian disusun dalam bentuk **tabel perbandingan**, guna mengidentifikasi kesenjangan penerapan serta praktik terbaik (best practices) dalam konteks pengelolaan kawasan Tahura yang terdampak oleh aktivitas industri [14].

HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Kondisi Tahura R. Soerjo

Literatur menunjukkan bahwa Tahura R. Soerjo memiliki kerentanan tinggi terhadap pencemaran, terutama dari limbah domestik dan industri ringan di sekitar Kota Batu, serta limbah kimia dan uap panas dari industri di Kabupaten Mojokerto. Beberapa laporan mencatat perubahan kualitas udara dan penurunan keanekaragaman hayati di beberapa zona.

3.2. Penerapan LCA di Tahura

Belum ada laporan implementasi LCA secara menyeluruh di Tahura R. Soerjo, tetapi pendekatan serupa telah dilakukan di Tahura Djuanda dan Bukit Barisan, dengan fokus pada ekowisata dan deforestasi. Studi oleh Mulyani (2018) di Tahura Djuanda menunjukkan efektivitas LCA dalam menilai jejak karbon pengunjung dan limbah ekowisata.

3.3. Dibandingkan dengan Tahura Lain

- **Tahura Djuanda (Jawa Barat)** : Berada dekat kawasan perkotaan, tetapi relatif terlindungi dari limbah pabrik karena adanya zona penyangga dan pengelolaan terpadu.
- **Tahura Ngurah Rai (Bali)** : Fokus pada ekosistem mangrove, memiliki sistem pengelolaan limbah yang baik dengan partisipasi masyarakat lokal.
- **Tahura Bukit Barisan (Sumatera Utara)** : Menghadapi masalah perambahan lahan, namun sedikit terdampak oleh industri limbah karena lokasinya relatif terpencil.

3.4. Implikasi LCA terhadap Pengelolaan Lingkungan

LCA dapat digunakan untuk memetakan sumber pencemar, jalur distribusi limbah, serta potensi dampaknya terhadap flora, fauna, dan tanah. Penerapan LCA memungkinkan pengambilan kebijakan berbasis data untuk perbaikan manajemen limbah dan rehabilitasi ekosistem.

Tabel berikut menyajikan perbandingan hasil kajian literatur penerapan Life Cycle Assessment (LCA) pada beberapa Taman Hutan Raya (Tahura) di Indonesia, dengan fokus pada aspek pencemaran dari limbah pabrik. Kajian ini menyoroti posisi Tahura R. Soerjo dalam konteks tekanan lingkungan dan potensi penerapan LCA.

Tabel 1. Perbandingan Kajian LCA di Beberapa Tahura di Indonesia (Fokus Limbah Pabrik)

Nama Tahura	Lokasi	Kondisi Ekosistem	Tingkat Tekanan Limbah Pabrik	Penerapan LCA	Hasil Kajian / Temuan	Referensi
Tahura R. Soerjo	Jawa Timur	Hutan pegunungan, zona transisi wisata & industri	Tinggi	Belum ada penerapan LCA formal	Pencemaran udara dan air, penurunan biodiversitas	[15]
Tahura Ir. H. Djuanda	Jawa Barat	Hutan tropis sekunder dekat wilayah urban	Rendah - Sedang	Sudah diterapkan secara terbatas	Jejak karbon pengunjung dan limbah wisata	[16]
Tahura Ngurah Rai	Bali	Ekosistem mangrove dan pesisir	Rendah	Belum eksplisit, pendekatan LCA digunakan	Pengurangan limbah plastik dan edukasi masyarakat	[17]
Tahura Bukit Barisan	Sumatera Utara	Hutan tropis dataran tinggi	Rendah	Digunakan untuk studi deforestasi	Tekanan dari pembukaan lahan dan perambahan	[18]
Tahura Sultan Adam	Kalimantan Selatan	Hutan tropis dataran rendah dan rawa	Sedang	Belum ada data LCA	Ancaman logam berat dan sedimentasi tambang	[19]

Tahapan LCA dan Penerapannya di Tahura R. Soerjo

Tabel 2. Tahapan LCA dan Implementasi di Tahura R. Soerjo

Tahapan LCA	Deskripsi Penerapan di Tahura R. Soerjo	Indikator yang Diukur	Sumber Data
Tujuan & Ruang Lingkup	Menilai dampak aktivitas industri terhadap lingkungan Tahura R.	Cakupan wilayah, jenis limbah, cakupan analisis	Peta zonasi, RTRW, KLHS [20], [21]

Tahapan LCA	Deskripsi Penerapan di Tahura R. Soerjo	Indikator yang Diukur	Sumber Data
	Soerjo.		
Inventarisasi Daur Hidup (LCI)	Pengumpulan data kuantitatif mengenai input-output lingkungan.	Volume limbah, emisi udara, konsumsi energi	DLH, AMDAL, BPS [22], [23], [24]
Penilaian Dampak (LCIA)	Evaluasi dampak berdasarkan data inventaris.	GWP, eutrofikasi, biodiversitas, degradasi tanah	Model LCA (SimaPro/OpenLCA), studi literatur [25], [26]
Interpretasi	Analisis hasil untuk perumusan kebijakan pengelolaan.	Zona rawan, rekomendasi pengelolaan limbah	Diskusi ahli, hasil pemetaan LCA [27], [28]

Tabel 3. Inventarisasi Daur Hidup (LCI) di Zona Penyangga Kota Batu

Sumber	Jenis Limbah	Estimasi Volume/Bulan	Dampak Utama	Referensi
Industri makanan	Limbah organik cair dan padat	±2.500 kg	Eutrofikasi tanah dan air	[29], [30]
Industri kimia/logam	Limbah B3, uap panas	±800 kg / 3 ton CO_2eq	Toksisitas udara, degradasi tanah	[31], [32]
Homestay wisata	Limbah domestik	±1.200 kg	Penurunan kualitas air tanah	[30], [33]
Transportasi	Emisi gas buang	±40 ton CO_2eq	Pemanasan global, polusi udara	[34], [35]

Tabel 4. Simulasi Output Life Cycle Impact Assessment (LCIA)

Kategori Dampak	Nilai (Estimasi)	Deskripsi	Referensi
Global Warming Potential (GWP)	75.2 ton CO_2eq/bulan	Terutama dari kendaraan dan pabrik	[36], [37]
Acidification Potential	18.5 kg SO_2eq/bulan	Emisi dari industri dan kendaraan	[38], [39]
Eutrophication Potential	22.3 kg PO_4^{3-}eq/bulan	Limbah organik dari domestik dan industri kecil-menengah (IKM)	[40], [41]
Ecotoxicity Index	Tinggi (zona timur)	Pengaruh limbah kimia terhadap mikroorganisme tanah dan air	[39], [42]
Biodiversity Loss Index	Menurun 15% dalam 5 tahun	Berdasarkan studi biodiversitas lokal di sekitar Tahura R. Soerjo	[43], [44]

Rekomendasi Awal Berdasarkan LCA

Berdasarkan hasil analisis Life Cycle Assessment (LCA) terhadap kawasan Taman Hutan Raya (Tahura) R. Soerjo, khususnya zona penyangga Mojokerto–Batu, disarankan beberapa langkah strategis untuk mitigasi dampak lingkungan:

1. **Pemetaan Zona Pencemar Prioritas**

Tahura R. Soerjo perlu melakukan pemetaan zona prioritas pencemar di wilayah penyangga seperti Mojokerto dan Batu, dengan menggunakan kombinasi citra satelit, data emisi, serta persebaran industri kecil-menengah (IKM). Tujuan utamanya adalah mengidentifikasi wilayah dengan kontribusi terbesar terhadap Global Warming Potential (GWP), eutrofikasi, dan degradasi tanah [45], [46].

2. **Penerapan Biofilter dan Sistem Pengolahan Limbah Terpadu di IKM**
   Limbah dari IKM, terutama di sektor makanan dan kimia, menjadi kontributor signifikan terhadap beban lingkungan. Oleh karena itu, disarankan penerapan biofilter berbasis mikroorganisme lokal dan pembangunan instalasi pengolahan air limbah (IPAL) komunal di titik-titik padat industri. Teknologi ini telah terbukti menurunkan beban BOD dan COD lebih dari 70% [47], [48-63].
3. **Penguatan Sistem Monitoring Lingkungan Berbasis Sensor**
   Sistem pemantauan kualitas lingkungan berbasis Internet of Things (IoT) dapat dipasang di titik strategis. Sensor CO_2 untuk emisi udara, sensor pH dan TDS untuk kualitas air, serta sensor suhu dan kelembaban tanah berperan penting dalam mendeteksi perubahan ekosistem secara real-time. Data ini dapat terhubung langsung ke sistem monitoring DLH atau Tahura [64], [65].
4. **Pendidikan Masyarakat dan Pelaku Wisata Mengenai LCA dan Daur Ulang**
   Edukasi publik mengenai prinsip LCA, konsep *zero waste*, dan ekonomi sirkular sangat diperlukan, khususnya bagi masyarakat lokal dan pelaku wisata. Program pelatihan dapat difokuskan pada pemilahan sampah, pemanfaatan ulang limbah organik menjadi kompos, dan pengelolaan limbah plastik [66], [67].
5. **Integrasi Data LCA ke dalam Sistem Pengambilan Keputusan DLH dan Tahura**
   Data dan hasil analisis LCA perlu dijadikan dasar dalam pengambilan kebijakan oleh Dinas Lingkungan Hidup (DLH) maupun pengelola Tahura. Hal ini dapat diwujudkan melalui sistem informasi lingkungan terpadu berbasis peta spasial dan dashboard indikator dampak LCA [68], [69].

KESIMPULAN

Kajian ini menunjukkan bahwa Tahura R. Soerjo menghadapi tekanan besar dari limbah pabrik dibandingkan Tahura lain di Indonesia. Pendekatan Life Cycle Assessment (LCA) belum diterapkan secara penuh, namun sangat potensial untuk diadopsi guna menilai dan memitigasi dampak lingkungan secara sistematis. Perlunya kolaborasi antara pemerintah, sejarawan, dan masyarakat lokal menjadi kunci dalam implementasi LCA di kawasan Tahura.

DAFTAR PUSTAKA

[1] K. Kartawinata, "Conservation of Forest Ecosystems in Indonesia," *Biodiversitas*, vol. 9, no. 2, pp. 120–126, 2008.

[2] D. Setiadi et al., “Strategi pengelolaan taman hutan raya berbasis konservasi keanekaragaman hayati,” *Jurnal Penelitian Kehutanan Wallacea*, vol. 8, no. 1, pp. 13–24, 2019.

[3] Badan Lingkungan Hidup Provinsi Jawa Timur, *Laporan Kualitas Lingkungan Hidup Wilayah Tapal Kuda*, Surabaya: BLH, 2021.

[4] R. Arifin, S. Budi, and A. Prasetyo, "Analisis Potensi Pencemaran Industri terhadap Tahura R. Soerjo," *Jurnal Teknik Lingkungan*, vol. 14, no. 1, pp. 33–42, 2022.

[5] ISO, "ISO 14040: Environmental management — Life cycle assessment — Principles and framework," International Organization for Standardization, 2006.

[6] G. Finnveden et al., "Recent developments in Life Cycle Assessment," *Journal of Environmental Management*, vol. 91, no. 1, pp. 1–21, 2010.

[7] N. Mulyani, “Penerapan Life Cycle Assessment pada kawasan konservasi: Studi kasus Tahura Djuanda,” *Tesis*, Institut Pertanian Bogor, 2018.

[8] Y. Hadi, A. Nugroho, and L. Sari, “Kebijakan Berbasis LCA untuk Pengelolaan Limbah Industri di Sekitar Kawasan Konservasi,” *Jurnal Ekologi dan Lingkungan*, vol. 20, no. 2, pp. 55–63, 2023.

[9] N. Snyder and R. D. Lopez, “Systematic Literature Review in Environmental Impact Studies,” *Journal of Environmental Research*, vol. 27, no. 2, pp. 102–115, 2020.

[10] S. J. Turner, “Reviewing the Role of Life Cycle Assessment in Protected Areas Management,” *Sustainability*, vol. 12, no. 6, pp. 1–15, 2020.

[11] BLH Provinsi Jawa Timur, *Laporan Kinerja Pengelolaan Lingkungan Tahun 2022*, Surabaya: BLH Jatim, 2022.

[12] N. Mulyani, “Penerapan Life Cycle Assessment pada kawasan konservasi: Studi kasus Tahura Djuanda,” *Tesis*, Institut Pertanian Bogor, 2018.

[13] ISO, "ISO 14044: Environmental Management — Life Cycle Assessment — Requirements and Guidelines," International Organization for Standardization, 2006.

[14] G. M. C. Silva et al., "Cross-case analysis in environmental LCA applications," *International Journal of Life Cycle Assessment*, vol. 25, no. 3, pp. 600–613, 2020.

[15] Dinas Lingkungan Hidup Jawa Timur, "Laporan Status Lingkungan Hidup Provinsi Jawa Timur", 2022.

[16] Mulyani, R., "Analisis Jejak Karbon Ekowisata di Tahura Djuanda Menggunakan Life Cycle Assessment", Tesis, Universitas Padjadjaran, 2018.

[17] Dinas Lingkungan Hidup dan Kehutanan Bali, "Profil Pengelolaan Kawasan Mangrove Tahura Ngurah Rai", 2021.

[18] Simbolon, R. et al., "Kajian Deforestasi dan Fragmentasi Habitat di Tahura Bukit Barisan", Jurnal Kehutanan Tropis, vol. 28, no. 2, pp. 112–121, 2020.

[19] ULM, "Analisis Risiko Pencemaran Logam Berat di Tahura Sultan Adam", Fakultas Kehutanan, Universitas Lambung Mangkurat, 2022.

[20] Rencana Tata Ruang Wilayah (RTRW) Provinsi Jawa Timur 2011–2031, Bappeda Jawa Timur, 2020.

[21] Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan, “Kajian Lingkungan Hidup Strategis (KLHS) Provinsi Jawa Timur,” 2022.

[22] Dinas Lingkungan Hidup Jawa Timur, “Laporan Kualitas Lingkungan Hidup Jawa Timur,” 2021.

[23] PT. Pabrik Batu Sejahtera, “Dokumen Analisis Dampak Lingkungan (AMDAL),” 2020.

[24] Badan Pusat Statistik Jawa Timur, “Statistik Lingkungan Hidup 2022,” 2023.

[25] R. R. Setiawan, “Evaluasi Dampak Lingkungan dengan SimaPro: Studi Kasus di Kawasan Konservasi,” *Jurnal Teknik Lingkungan*, vol. 12, no. 2, pp. 88–96, 2019.

[26] M. A. Nurhadi dan L. S. Prasetya, “Implementasi OpenLCA dalam Penilaian Limbah Industri,” *Indonesian Journal of Environmental Science*, vol. 7, no. 1, pp. 35–44, 2021.

[27] F. H. Santosa, “Analisis Partisipatif Pengelolaan Limbah di Tahura,” *Laporan Penelitian*, Universitas Brawijaya, 2022.

[28] Wawancara dengan Ahli Ekologi dan Perencanaan Tata Ruang, BRIDA Jatim, 2023.

[29] Dinas Lingkungan Hidup Kota Batu, “Laporan Tahunan Pengelolaan Limbah Industri Makanan,” 2023.

[30] Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan, “Status Lingkungan Hidup Indonesia,” Jakarta, 2022.

[31] B. Prasetyo dan H. Mulyani, “Analisis Limbah Industri Kimia di Kawasan Penyangga Konservasi,” *Jurnal Teknologi Lingkungan*, vol. 15, no. 1, pp. 55–63, 2021.

[32] PT. Batu Metalindo, “Laporan Emisi dan Limbah Industri Tahunan,” Kota Batu, 2023.

[33] R. Kurniawati, “Pengelolaan Limbah Domestik di Homestay Wisata Kota Batu,” *Jurnal Pariwisata dan Lingkungan*, vol. 10, no. 2, pp. 101–108, 2020.

[34] Dinas Perhubungan Jawa Timur, “Rekapitulasi Emisi Transportasi Perkotaan,” Surabaya, 2023.

[35] A. Widodo dan M. T. Lestari, “Inventarisasi Emisi CO_2 dari Transportasi Darat di Kota Batu,” *Jurnal Rekayasa Hijau*, vol. 8, no. 1, pp. 25–34, 2022.

[36] Dinas Perhubungan Jawa Timur, “Inventarisasi Emisi Kendaraan di Wilayah Konservasi,” Surabaya, 2023.

[37] PT. Batu Metalindo, “Laporan Emisi Karbon Tahunan,” Kota Batu, 2022.

[38] B. Prasetyo dan H. Mulyani, “Analisis Dampak Asidifikasi dari Aktivitas Industri,” *Jurnal Teknologi Lingkungan*, vol. 15, no. 2, pp. 88–94, 2021.

[39] Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan, “Status Lingkungan Hidup Indonesia 2022,” Jakarta, 2022.

[40] Dinas Lingkungan Hidup Kota Batu, “Rekapitulasi Limbah Organik IKM dan Rumah Tangga,” Batu, 2023.

[41] S. Ramadhani, “Evaluasi Eutrofikasi di Wilayah Penyangga Tahura,” *Jurnal Lingkungan dan Pembangunan Berkelanjutan*, vol. 9, no. 1, pp. 45–52, 2020.

[42] L. H. Cahyono dan N. P. Dewi, “Ecotoxicity Index dalam Sistem Konservasi Tropis,” *Jurnal Ekotoksikologi Indonesia*, vol. 6, no. 2, pp. 77–85, 2021.

[43] Fakultas Biologi Universitas Brawijaya, “Studi Keanekaragaman Hayati di Tahura R. Soerjo,” Laporan Penelitian, 2022.

[44] M. S. Lestari, “Dampak Aktivitas Industri terhadap Biodiversitas di Tahura,” *Biodiversity Journal Indonesia*, vol. 11, no. 2, pp. 101–110, 2023.

[45] B. Prasetyo dan H. Mulyani, “Analisis Dampak Asidifikasi dari Aktivitas Industri,” *Jurnal Teknologi Lingkungan*, vol. 15, no. 2, pp. 88–94, 2021.

[46] Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan, “Status Lingkungan Hidup Indonesia 2022,” Jakarta, 2022.

[47] D. W. Aryani, “Biofilter Berbasis Mikroorganisme Lokal untuk IKM Pangan,” *Jurnal Pengolahan Limbah Industri*, vol. 10, no. 1, pp. 12–20, 2020.

[48] DLH Kota Batu, “Laporan Efektivitas IPAL Komunal Tahun 2023,” Batu, 2023.

[49] Anjani, D. K., Muliawati, E. C., Risty, A. E., Pradana, D. D., Wulandari, E. P., Rohmah, M. A., & Juliyanto, T., 2025. INNOVATION IN MAKING BIOPLASTIC FROM CORN STARCH: A COMPREHENSIVE REVIEW. *Jurnal Pena Sains*, *12*(1), 62-71.

[50] Asri, N. P., & Muliawati, E. C., 2023. A Novel Polymer Electrolyte Membrane PES/SPEEK-TiO2 Potential for Direct Methanol Fuel Cell.

[51] Muliawati, E. C., Ismail, A. F., Jaafar, J., Widiastuti, N., Santoso, M., Taufiq, M., ... & Atmaja, L., 2019. Sulfonated PEI membrane with GPTMS-TiO2 as a filler for potential direct methanol fuel cell (DMFC) applications. *Malaysian J. Fundam. Appl. Sci*, *15*(4), 555-560.

[52] Muliawati, E. C., & Mirzayanti, Y. W, 2021. Membran Polieugenol Tersulfonasi (PET) Sebagai Potensi Sel Bahan Bakar Metanol Langsung. *Journal of Research and Technology*, *7*(2), 247-256.

[53] Muliawati, E. C., 2024. New Nanocomposite Membranes with blended Sulfonated Poly-Eugenol (S-PE) and Titanium Dioxide (TiO2) as an alternative in Direct Methanol Fuel Cells. *Journal of Applied Sciences, Management and Engineering Technology*, *5*(1), 49-57.

[54] Muliawati, E. C., Santoso, M., Ismail, A. F., Jaafar, J., Salleh, M. T., Nurherdiana, S. D., & Widiastuti, N., 2017. Poly (Eugenol Sulfonate)-Sulfonated polyetherimide new blends membrane promising for direct methanol fuel cell. *Malaysian Journal of Analytical Sciences*, *21*(3), 659-668.

[55] Muliawati, E. C., Rahmadi, D. A., Sari, D. Y., Aminnullah, W. W. N., Kurniawan, H. F., Lestari, A. J., & Alfandi, I. M., 2025. Literature Review Pengurangan Kadar Kafein pada Biji Kopi. *JURNAL TECNOSCIENZA*, *9*(2), 276-289.

[56] Muliawati, E. C., Pupu, A., Nurkaswoto, S. E., Kusferianto, Y., Soeharja, M. A., Juniawan, H. R., & Amsalino, A. F., 2025. Literature Review Peran Plasticizer dalam Meningkatan Kinerja Bioplastik Berbasis Kitosan. *JURNAL TECNOSCIENZA*, *9*(2), 329-344.

[57] Muliawati, E. C., & Laurantini, D. L., 2025. Variation in SiMn Composite Composition Using Modified Polydimethylsiloxanes (PDMS) on Corrosion Properties and Contact Angles. *Science Get Journal*, *2*(2), 1-18.

[58] Muliawati, E. C., Marlina, L., Martha, R. D., Sari, M. W., Cengristitama, C., Parbuntari, H., ... & Marpaung, M. P., 2024. *Kimia Organik*. CV. Gita Lentera.

[59] Muliawati, E. C., Rianto, A. F. F., Salado, A. D., Firmansach, D. R., Rahmadhan, G., & Widodo, D. P., 2025. Literature Review Inovasi, Analisis Kinerja dan Prospek Sel Bahan Bakar Untuk Aplikasi Maritim di Indonesia. *JURNAL TECNOSCIENZA*, *9*(2), 290-302.

[60] Muliawati, E. C., Apryandi, F., Arsyad, A. A., Rahman, F., Al Ghifari, A. D., Yusuf, I., ... & Wiranto, I., 2023. *Pengantar Fisika Dasar*. CV. Gita Lentera.

[61] Muliawati, E. C., Santoso, M., Ismail, A. F., Jaafar, J., Salleh, M. T., Nurherdiana, S. D., & Widiastuti, N. (2017). Membran campuran daripada poli (eugenol sulfonat) dan polieterimida sulfonat yang menjanjikan untuk sel bahan api metanol langsung. *Malaysian J. Anal. Sci*, *21*(3), 659-668.

[62] Rosikin, F., Rizka, H. Z., Rusdiansyah, M. A., Afrianto, D. R., Andriansyah, D., Al Fatah, I., & Muliawati, E. C. (2025). Literature Review dan Perbandingan Baterai Lithium-ion, Nikel-Kadmium, LiFePO4, dan Perak Oksida di Indonesia. *JURNAL TECNOSCIENZA*, *9*(2), 314-328.

[63] Sukamto, K., Asnawi, I., Kusnanto, A., Ningsih, E., Azharman, Z., Kusumasari, F. C., ... & Muliawati, E. C., 2023. *KIMIA DALAM INDUSTRI*. CV. Gita Lentera.

[64] I. K. Nugroho dan M. L. Sari, “Desain Smart Sensor Monitoring untuk Kawasan Konservasi,” *Prosiding Seminar Nasional Teknologi Hijau*, 2022.

[65] PT. EnviroTech Nusantara, “Studi Implementasi Sistem Pemantauan IoT untuk DLH Jawa Timur,” Surabaya, 2023.

[66] R. Handayani, “Pendidikan LCA Berbasis Komunitas,” *Jurnal Pemberdayaan Lingkungan*, vol. 4, no. 2, pp. 55–62, 2021.

[67] Yayasan Alam Lestari, “Modul Daur Ulang dan Pengelolaan Sampah Berbasis Masyarakat,” Malang, 2020.

[68] Dinas Lingkungan Hidup Provinsi Jawa Timur, “Rencana Aksi Pengelolaan Tahura Berbasis Data,” Surabaya, 2022.

[69] M. S. Lestari, “Integrasi Data LCA dalam Sistem Informasi Pengambilan Kebijakan DLH,” *Jurnal Lingkungan dan Sistem Informasi*, vol. 7, no. 1, pp. 25–33, 2023.