



Original Research Article

Strategi Pengawasan Laboratorium Obat dan Makanan Berwawasan Lingkungan Berbasis Life Cycle Assessment

Retno Hari Wahyuni^{1*}, Bening Laksa Intan²

¹ Badan Pengawas Obat dan Makanan Republik Indonesia

² Jurusan Rekayasa Infrastruktur dan Lingkungan, Fakultas Ilmu dan Teknologi Lingkungan, Universitas Katolik Soegijapranata

*Corresponding author: retno.wahyuni@pom.go.id

Diterima: 07-04-2026

Disetujui: 22-04-2026

Diterbitkan: 24-04-2026

Kata Kunci: *Life Cycle Assessment*; laboratorium pengujian; dampak lingkungan; *green laboratory*; pengawasan lingkungan

ABSTRAK

Laboratorium pengujian obat dan makanan merupakan bagian penting dalam sistem pengawasan berbasis risiko, namun aktivitasnya juga menghasilkan beban atau dampak lingkungan melalui konsumsi energi, penggunaan reagen kimia dan media mikrobiologi, penggunaan air, serta timbulan limbah. Penelitian ini bertujuan mengidentifikasi *hotspot* dampak lingkungan operasional laboratorium pengujian obat dan makanan serta merumuskan strategi pengawasan berwawasan lingkungan berbasis *Life Cycle Assessment* (LCA). Kajian dilakukan dengan pendekatan LCA mengacu pada ISO 14040 dan ISO 14044 dengan batasan sistem *gate-to-gate* yang mencakup administrasi sampel, pemenuhan kondisi lingkungan laboratorium, preparasi sampel, dan analisis instrumentasi selama tahun 2023. Unit fungsional yang digunakan adalah satu jasa analisis laboratorium, sedangkan data inventori diperoleh dari catatan operasional internal dan dianalisis menggunakan OpenLCA versi 2.0 dengan basis data Ecoinvent. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kategori dampak terbesar adalah *Global Warming Potential* (GWP) sebesar 161,601 kg CO₂-ekuivalen per jasa analisis dan *Cumulative Energy Demand* (CED) sebesar 103,162 MJ per jasa analisis, dengan kontribusi dominan berasal dari tahap analisis instrumentasi dan preparasi sampel. Hasil normalisasi menempatkan urutan dampak dari yang terbesar hingga terkecil yaitu GWP, CED, asidifikasi, eutrofikasi, karsinogenik dan toksisitas, *respiratory organic*, serta *ozone depletion*. Berdasarkan hasil tersebut, strategi pengawasan laboratorium perlu diarahkan pada efisiensi energi, pengendalian penggunaan reagen kimia, penguatan digitalisasi, serta pengembangan program perubahan perilaku seperti OASIS, Conter *Green Lab*, dan Bilik Madya. Penelitian ini menunjukkan bahwa indikator lingkungan berbasis LCA dapat digunakan sebagai dasar integrasi aspek keberlanjutan ke dalam audit internal, perencanaan program, dan evaluasi kinerja laboratorium.

Received: 07-04-2026

Accepted: 22-04-2026

Published: 24-04-2026

Keywords:

Life Cycle Assessment; testing laboratory; environmental impact; *green laboratory*; environmental supervision

ABSTRACT

Drug and food testing laboratories are essential components of risk-based regulatory oversight, yet their operations also generate environmental burdens through energy consumption, chemical use, water use, and waste generation. This study aimed to identify environmental impact hotspots in laboratory operations and to formulate environmentally oriented supervisory strategies based on Life Cycle Assessment (LCA). The assessment applied the LCA approach in accordance with ISO 14040 and ISO 14044 using a gate-to-gate system boundary covering sample administration, laboratory environmental conditioning, sample preparation, and instrumentation analysis during 2023. The functional unit was one laboratory

analysis service, and inventory data were compiled from internal operational records and analyzed using OpenLCA version 2.0 with the Ecoinvent database (Hari Wahyuni, 2024). The results showed that the largest impacts were found in the Global Warming Potential (GWP) category at 161.601 kg CO₂-equivalent per analysis service and Cumulative Energy Demand (CED) at 103.162 MJ per analysis service, with the main contributions originating from instrumentation analysis and sample preparation stages. Normalization results ranked the impact categories from highest to lowest as GWP, CED, acidification, eutrophication, carcinogenic and toxicity effects, respiratory organic effects, and ozone depletion (Hari Wahyuni, 2024). These findings indicate that supervisory strategies should focus on energy efficiency, chemical-use control, digitalization strengthening, and behavior-based environmental programs such as OASIS, Conter Green Lab, and Bilik Madya. This study confirms that LCA-based environmental indicators can support the integration of sustainability aspects into internal audits, program planning, and laboratory performance evaluation.

1. PENDAHULUAN

Perubahan iklim, degradasi ekosistem, dan pencemaran lingkungan mendorong perlunya pengelolaan lingkungan yang lebih efektif pada semua sektor, termasuk laboratorium pengujian obat dan makanan (Imperative, 2022; Galli et al., 2024). Laboratorium modern mengandalkan instrumen berteknologi tinggi yang mengonsumsi energi besar, menggunakan berbagai reagen kimia, dan menghasilkan limbah padat maupun cair (My Green Lab, 2018; EFLM, 2023). Studi terbaru menempatkan laboratorium kesehatan dan farmasi sebagai pengguna energi yang intensif dan penghasil limbah signifikan sehingga perlu menjadi sasaran program keberlanjutan (Biel et al., 2024; Imperative, 2022).

Dalam satu dekade terakhir, konsep *green laboratory* berkembang pesat sebagai respons terhadap tingginya konsumsi energi, air, serta timbulan limbah dari aktivitas laboratorium, khususnya di sektor kesehatan dan farmasi (Freese et al., 2024; My Green Lab & Veolia Water Technologies, 2023). Berbagai inisiatif internasional menunjukkan bahwa laboratorium yang menerapkan praktik berkelanjutan seperti efisiensi energi, konservasi air, pengurangan bahan sekali pakai, dan penguatan perilaku 3R mampu menurunkan jejak karbon sekaligus meningkatkan efisiensi operasional tanpa mengurangi mutu layanan pengujian (Freese et al., 2024; My Green Lab & Veolia Water Technologies, 2023).

Life Cycle Assessment (LCA) semakin diakui sebagai *tools* ilmiah yang penting untuk mengidentifikasi *hotspot* lingkungan dan menyusun *roadmap* transformasi laboratorium yang terukur dan berbasis bukti (Barelli et al., 2024; UNEP, 2023; Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan, 2021). Dalam konteks laboratorium pengawasan obat dan makanan, integrasi LCA dengan program *green laboratory* menjadi relevan karena memungkinkan pengambil kebijakan menghubungkan hasil analisis kuantitatif dampak lingkungan dengan perencanaan program, penguatan sistem pengawasan, dan akuntabilitas kinerja laboratorium (Badan Pengawas Obat dan Makanan RI, 2025; Kementerian Kesehatan/BPOM, 2022; Kang, 2025).

LCA merupakan suatu pendekatan sistematis untuk menilai dampak lingkungan suatu produk, proses, atau jasa sepanjang daur hidupnya (ISO, 2006a; ISO, 2006b). Berbagai studi menunjukkan bahwa konsumsi energi listrik dan penggunaan reagen kimia merupakan kontributor utama terhadap kategori dampak seperti *Global Warming Potential*

dan *Cumulative Energy Demand* (Dabbas et al., 2024; Galli et al., 2024). Namun, penerapan LCA pada layanan laboratorium pengujian obat dan makanan di instansi pemerintah masih relatif terbatas dibandingkan penerapan pada produk atau proses industri (Hari Wahyuni, 2024).

Hasil kajian LCA pada salah satu laboratorium pengawasan obat dan makanan di Provinsi X tahun 2023 menunjukkan bahwa konsumsi energi listrik pada tahap analisis instrumentasi serta penggunaan reagen kimia dan kemasan pada tahap preparasi merupakan penyumbang terbesar dampak lingkungan per jasa analisis (Samadikun et al., 2024; Hari Wahyuni, 2024). Informasi ini penting karena hasil LCA tidak hanya memberikan profil dampak, tetapi juga mengidentifikasi *hotspot* tempat intervensi perbaikan dapat dilakukan secara lebih efektif. Dalam konteks pengawasan obat dan makanan, hasil tersebut membuka peluang untuk merancang strategi penguatan pengawasan pada unit proses dengan kontribusi dampak terbesar sekaligus mengintegrasikan aspek lingkungan ke dalam sistem manajemen laboratorium (Hari Wahyuni, 2024).

Laboratorium pengawasan obat dan makanan berperan dalam sistem pengawasan berbasis risiko, karena ketepatan keputusan pengawasan sangat bergantung pada mutu dan keberlanjutan layanan pengujian. Oleh karena itu, laboratorium tidak hanya harus memenuhi aspek mutu dan keselamatan kerja, tetapi juga perlu menunjukkan akuntabilitas terhadap jejak energi, emisi, penggunaan reagen kimia, dan pengelolaan limbah dari setiap jasa analisis yang dilakukan. Hasil penilaian lingkungan tersebut selanjutnya dapat diintegrasikan ke dalam audit internal, penyusunan target kinerja, dokumen Renstra, dan berbagai inisiatif perubahan organisasi (Hari Wahyuni, 2024).

Beberapa tindakan penguatan implementasi telah dilakukan pada program perubahan internal, seperti OASIS, Conter Green Lab, dan Bilik Madya. OASIS yang merupakan *Office Actions for Environmental Sustainability and Innovative Solution* merupakan aksi pengelolaan sampah berbasis 3R dan kerja sama bank sampah, Bilik Madya merupakan program kampanye hemat listrik, sedangkan Conter Green Lab diarahkan untuk konservasi air dan penguatan konsep *green laboratory* (Badan Pengawas Obat dan Makanan RI, 2025). Program-program tersebut menunjukkan bahwa hasil LCA dapat diterjemahkan ke dalam intervensi teknis, manajerial, dan perilaku secara bersamaan (Badan Pengawas Obat dan Makanan RI, 2025).

Sebagai respon terhadap latar belakang tersebut, penelitian ini bertujuan mengidentifikasi hotspot dampak lingkungan operasional laboratorium pengujian obat dan makanan berdasarkan hasil perhitungan LCA tahun 2023 serta merumuskan strategi pengawasan berwawasan lingkungan yang dapat diadopsi sebagai inisiasi green laboratory dan green office pada laboratorium pemerintah. Kebaruan penelitian ini terletak pada penerapan LCA dalam konteks laboratorium pengawasan obat dan makanan sektor pemerintah, sekaligus mengintegrasikan hasilnya ke dalam strategi pengawasan internal, audit, penyusunan target kinerja, dan roadmap implementasi *green laboratory* secara lebih sistematis dan berbasis bukti (Hari Wahyuni, 2024).

2. METODE

Penelitian ini menggunakan pendekatan LCA dengan mengacu pada ISO 14040 dan ISO 14044 sebagai standar prinsip dan kerangka pelaksanaan LCA (ISO, 2006a; ISO, 2006b). Penelitian dilaksanakan pada salah satu laboratorium pengawasan obat dan makanan di provinsi X dengan periode data operasional tahun 2023 (Hari Wahyuni, 2024).

Batasan sistem yang digunakan adalah *gate-to-gate*. *Gate-to-gate* berarti LCA dibatasi hanya pada rangkaian aktivitas paling dekat di dalam laboratorium, yaitu mulai dari sampel datang sampai jasa analisis selesai dan hasil uji dilaporkan meliputi empat unit proses, yaitu administrasi sampel, pemenuhan kondisi lingkungan laboratorium, preparasi sampel, dan analisis instrumentasi. Batasan ini dipilih karena fokus kajian diarahkan pada aktivitas yang dapat diintervensi langsung oleh pengelola laboratorium dan dapat diintegrasikan ke dalam siklus pengawasan internal, seperti audit mutu, aksi perubahan, dan program efisiensi energi (Hari Wahyuni, 2024). Produksi instrumen, pembangunan gedung, dan fase hilir produk yang diuji tidak dimasukkan ke dalam sistem kajian (Hari Wahyuni, 2024).

Unit fungsional yang digunakan adalah satu jasa analisis laboratorium. Unit fungsional harus mencerminkan fungsi utama sistem yang dikaji, fungsi laboratorium pengawasan adalah memberikan jasa analisis yang sah dan andal, sehingga "satu jasa analisis laboratorium" merupakan pilihan unit fungsional yang paling logis dan langsung terkait fungsi itu Seluruh *input* dan *output*, seperti konsumsi listrik, reagen kimia dan media, kertas, bohlam, kemasan sampel, serta parameter limbah cair, dinormalisasi terhadap jumlah jasa analisis dalam periode pengamatan (Samadikun et al., 2024). Data inventori diperoleh dari catatan operasional internal selama tahun 2023, mencakup penggunaan energi perkantoran dan laboratorium, sistem HVAC, instrumen, reagen kimia, media, penggunaan kertas, kemasan sampel, dan hasil analisis air limbah dari IPAL (Hari Wahyuni, 2024).

Penilaian dampak dilakukan menggunakan perangkat lunak OpenLCA versi 2.0 dengan basis data Ecoinvent. Metode CML-IA Baseline digunakan untuk kategori GWP, Asidifikasi, Eutrofikasi, dan Ozone Depletion Potential; metode CED digunakan untuk kebutuhan energi primer; IMPACT 2002+ digunakan untuk kategori respiratory organic; dan ReCiPe Midpoint digunakan untuk kategori karsinogenik dan toksisitas (Hari Wahyuni, 2024). Setiap aliran inventori dikonversi menjadi nilai dampak per jasa analisis Melalui Characterization Factor yang relevan, Kemudian dilakukan Normalisasi Untuk normalisasi

digunakan untuk membandingkan besaran relatif antar kategori dampak yang memiliki satuan berbeda (ISO, 2006a; ISO, 2006b).

Tahap interpretasi dilakukan untuk mengidentifikasi hotspot dampak lingkungan dan menyusun implikasi pengawasan. Pada tahap ini, hasil LCA tidak hanya dibaca sebagai angka teknis, tetapi juga dihubungkan dengan peluang intervensi operasional, manajerial, dan kelembagaan, termasuk program perubahan seperti OASIS, Conter Green Lab, dan Bilik Madya (Badan Pengawas Obat dan Makanan RI, 2025).

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil perhitungan LCA menunjukkan bahwa aktivitas laboratorium pengujian obat dan makanan menghasilkan dampak lingkungan pada tujuh kategori utama, yaitu GWP, Asidifikasi, Eutrofikasi, Ozone Depletion, Respiratory Organic, CED, serta Karsinogenik dan Toksisitas (Hari Wahyuni, 2024). Besarnya nilai dampak masing-masing kategori pada setiap unit proses disajikan pada Gambar 1. Berdasarkan hasil perhitungan tersebut, kategori dampak terbesar adalah GWP dengan nilai total 161,601 kg CO₂-ekuivalen per jasa analisis, sedangkan CED berada pada urutan kedua dengan nilai 103,162 MJ per jasa analisis. Pada kategori GWP, kontribusi terbesar berasal dari tahap analisis instrumentasi sebesar 127,887 kg CO₂-ekuivalen per jasa analisis, diikuti administrasi sampel sebesar 26,777 kg CO₂-ekuivalen per jasa analisis, preparasi sampel sebesar 6,229 kg CO₂-ekuivalen per jasa analisis, dan pemenuhan kondisi lingkungan laboratorium sebesar 0,709 kg CO₂-ekuivalen per jasa analisis. Pola serupa juga terlihat pada CED, di mana analisis instrumentasi dan preparasi sampel merupakan penyumbang yang paling dominan.

Setelah dilakukan perhitungan dampak lingkungan, selanjutnya dilakukan tahap normalisasi. Tahap normalisasi digunakan untuk membandingkan besaran relatif antar kategori dampak yang memiliki satuan berbeda (Saraswati & Assomadi, 2024). Dengan mengukur dan melaporkan emisi dalam bentuk CO₂ ekuivalen, Pengurangan emisi CO₂ ekuivalen merupakan indikator langsung dari keberhasilan inisiatif ini. Hasil normalisasi menunjukkan urutan dampak dari yang paling besar hingga yang paling kecil, dan hasil tersebut disajikan pada Gambar 1.

Gambar 1 menunjukkan bahwa kategori dampak yang paling dominan setelah dilakukan normalisasi adalah GWP, diikuti oleh CED, asidifikasi, eutrofikasi, karsinogenik dan toksisitas, *respiratory organic*, serta *ozone depletion* (Hari Wahyuni, 2024). Temuan ini menunjukkan bahwa strategi pengendalian lingkungan pada laboratorium tidak cukup berfokus pada emisi karbon saja, tetapi juga harus mempertimbangkan efisiensi energi, pengelolaan reagen kimia, dan pengendalian potensi dampak terhadap kesehatan dan kualitas lingkungan (Dabbas et al., 2024; Galli et al., 2024).

Dari sudut pandang operasional, dominasi dampak pada tahap analisis instrumentasi mengindikasikan bahwa penggunaan instrumen berenergi tinggi, sistem HVAC, dan peralatan pendukung lain merupakan *hotspot* utama. Sementara itu, kontribusi besar dari preparasi sampel menunjukkan pentingnya pengendalian penggunaan reagen kimia dan media mikrobiologi, pelarut, dan kemasan

(Samadikun et al., 2024; Hari Wahyuni, 2024). Dengan demikian, intervensi yang disarankan meliputi efisiensi energi peralatan, pengaturan penggunaan instrumen secara terjadwal, perawatan sistem HVAC, optimasi penggunaan reagen, pengurangan bahan sekali pakai, dan penguatan praktik minimisasi limbah (My Green Lab, 2018; EFLM, 2023).

Dari sisi pengawasan, hasil LCA dapat dijadikan dasar pembentukan indikator lingkungan berbasis bukti. Indikator tersebut dapat meliputi pengurangan konsumsi energi per jasa analisis, penurunan penggunaan air dan reagen kimia, pengurangan kertas, peningkatan pemilahan limbah, serta pelaksanaan audit lingkungan internal secara berkala. Integrasi indikator semacam ini akan memperluas fungsi pengawasan laboratorium dari yang semula dominan pada mutu dan keselamatan kerja menjadi juga mencakup akuntabilitas lingkungan (Hari Wahyuni, 2024).

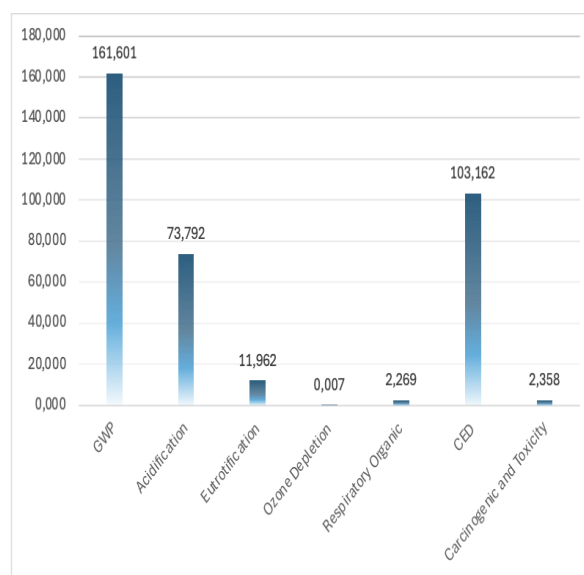
Penguatan implementasi strategi juga dapat dilihat dari program perubahan internal yang telah berkembang. OASIS merupakan program pengelolaan sampah berbasis 3R dan kemitraan dengan bank sampah, yang telah memperkuat budaya pemilahan sampah, transparansi pencatatan, dan citra organisasi sebagai instansi yang peduli lingkungan (Badan Pengawas Obat dan Makanan RI, 2025). Bilik Madya merupakan inovasi untuk membangun kesadaran dan partisipasi pegawai dalam penghematan listrik, sedangkan Conter Green Lab diarahkan untuk konservasi air sebagai bagian dari upaya penguatan *green laboratory* (Badan Pengawas Obat dan Makanan RI, 2025).

Keterkaitan antara hasil LCA dan program perubahan tersebut menunjukkan bahwa strategi pengawasan berwawasan lingkungan dapat berjalan melalui kombinasi intervensi teknis, perilaku, dan manajerial. Oleh karena itu, *roadmap* implementasi menjadi penting untuk memastikan keberlanjutan program dari fase inisiasi, pengukuran, pengendalian, hingga institusionalisasi (Badan Pengawas Obat dan Makanan RI, 2025).

Roadmap pada **Tabel 2** menunjukkan tahapan perkembangan mulai dari inisiasi *green office/ green laboratory* dan pengumpulan data inventori pada 2023, perhitungan LCA serta penyusunan langkah pengendalian pada 2024, penguatan program *green laboratory* dan AoC pada 2025, penguatan efisiensi energi dan digitalisasi pada 2026, hingga institusionalisasi indikator lingkungan dan audit internal berbasis LCA pada 2027 (Badan Pengawas Obat dan Makanan RI, 2025). Susunan ini memperlihatkan bahwa hasil penelitian telah bergerak dari tahap diagnosis dampak menuju strategi implementasi berkelanjutan.

Tabel 1. Tabel Hasil Penilaian Dampak Lingkungan Laboratorium Obat dan Makanan di Provinsi X Selama Tahun 2023 Menggunakan Open LCA 2.0

Impact Assessment	Satuan	Unit Proses				Total Dampak yang Dihasilkan
		Administrasi Sampel	Pemenuhan Kondisi Lingkungan Laboratorium	Preparasi Sampel	Analisis Instrumentasi	
GWP	kg CO ₂ eq/ jasa analisis	26,777	0,709	6,229	127,887	161,601
Acidification	kg SO ₂ eq/ jasa analisis	0,114	0,005	0,041	30,754	30,914
Eutrofitication	kg PO ₄ -eq/ jasa analisis	0,159	0,003	0,027	7,371	7,561
Ozone Depletion	kg CFC eq/ jasa analisis	0,000	0,000	0,003	0,000	0,003
Respiratory Organic	kg CO ₂ eq/ jasa analisis	0,000	0,001	0,001	2,266	2,269
CED	MJ/ jasa analisis	12,450	2,184	35,970	52,559	103,162
Carcinogenic and Toxicity	kg 1,4DCB eq/ jasa analisis	0,027	0,073	0,815	0,000	0,915



Gambar 1. Hasil Normalisasi Dampak Lingkungan Laboratorium Obat dan Makanan di Provinsi X Selama Tahun 2023

Secara keseluruhan, hasil penelitian menunjukkan bahwa LCA memberikan dasar kuantitatif yang kuat untuk menyusun kebijakan dan program pengawasan laboratorium berwawasan lingkungan. Nilai tambah pendekatan ini terletak pada kemampuannya menghubungkan data inventori, kategori dampak, *hotspot* unit proses, dan strategi perbaikan yang dapat ditindaklanjuti secara kelembagaan (Hari Wahyuni, 2024).

Berdasarkan profil dampak dan hotspot yang teridentifikasi, hasil LCA tahun 2023 kemudian diterjemahkan ke dalam serangkaian langkah implementasi yang terstruktur. Roadmap ini disusun untuk mengoperasionalkan temuan utama, terutama dominasi dampak pada kategori GWP dan CED serta kontribusi terbesar dari tahap analisis instrumentasi dan preparasi sampel, menjadi program konkret pada tingkat operasional, manajerial, dan kelembagaan laboratorium. Dengan demikian, Tabel 2 tidak hanya menggambarkan rencana umum *green laboratory*, tetapi merupakan tahapan implementasi bertahap yang secara langsung disusun berdasarkan hasil LCA dan digunakan sebagai acuan penguatan pengawasan berwawasan lingkungan hingga tahun 2027.

Tabel 2. Roadmap Upaya Implementasi Laboratorium Berwawasan Lingkungan Tahun 2023-2027

Tahun	Langkah utama	Indikator keberhasilan	Keterkaitan pengawasan	Sumber daya dan kendala
2023	1. Inisiasi penerapan <i>green office/ green laboratory</i> . 2. Pengumpulan data inventori yang dibutuhkan selama tahun 2023.	Tersedianya data inventori energi, reagen kimia, air, kertas, kemasan sampel, dan limbah; terbentuk komitmen awal pimpinan unit kerja.	Menjadi <i>baseline</i> untuk evaluasi kinerja lingkungan laboratorium pada tahun-tahun berikutnya.	Membutuhkan data historis yang lengkap; kendala utama berupa keterbatasan pencatatan dan konsolidasi data lintas unit.
2024	1. Perhitungan dampak lingkungan dari aktivitas pengujian obat dan makanan berbasis LCA penerikan data tahun 2023. 2. Penyusunan laporan hasil perhitungan LCA. 3. Penyusunan langkah-langkah pengendalian dampak lingkungan berdasarkan hasil LCA.	Tersusunnya profil dampak lingkungan per jasa analisis dan teridentifikasinya <i>hotspot</i> pada proses utama laboratorium.	Menjadi dasar penetapan prioritas pengawasan internal berbasis risiko lingkungan.	Membutuhkan kompetensi LCA, perangkat lunak, serta validasi data; kendala berupa keterbatasan sumber daya manusia teknis.
2025	1. Penyusunan manual <i>green office/ green laboratory</i> 2. Penyusunan matriks evaluasi menuju <i>green office/ green laboratory</i> 3. Pelaksanaan program efisiensi energi. 4. Partisipasi dalam pemetaan dan lomba <i>green laboratory</i> tingkat nasional yang diselenggarakan Pusat Pengembangan Pengujian Obat dan Makanan . 5. Inisiasi digitalisasi laboratorium (laporan pengujian elektronik, sistem informasi pengujian secara <i>online</i>). 6. Peremajaan Instalasi Pengolahan Air Limbah. 7. Pembentukan program <i>Agent of Change (AoC) OASIS (Office Action for Environmental Sustainability and Innovative Solution)</i> melalui penerapan 3R. 8. Pembentukan program AoC Center Green Lab (<i>Conservation Water for Green Laboratory</i>). 9. Pembentukan program AoC Bilik Madya (Bijak Listrik dan Hemat Daya). 10. <i>Benchmarking</i> dengan industri hijau (PT Sidomuncul). 11. Penetapan SK Tim <i>Green Laboratory</i> .	Tersedianya pedoman dan matriks evaluasi; terbentuknya tim pelaksana dan program AoC; mulai tampak penurunan konsumsi energi, air, dan timbulan limbah.	Menguatkan integrasi aspek lingkungan dalam audit internal, pengendalian operasional, dan budaya kerja laboratorium.	Membutuhkan dukungan anggaran, perubahan perilaku pegawai, dan koordinasi lintas bidang; kendala pada adaptasi budaya organisasi dan keterbatasan sarana.
2026	1. Berlanjutnya program efisiensi energi. 2. Penguatan program AoC OASIS 2.0 sebagai penguatan atas program AoC di bidang <i>green laboratory</i> tahun 2025. 3. Penguatan implementasi digitalisasi laboratorium dan laporan elektronik. 4. Partisipasi dalam program penanaman pohon.	Penurunan konsumsi energi dan kertas dibanding <i>baseline</i> ; meningkatnya kepatuhan penggunaan sistem digital dan laporan elektronik; program AoC berjalan berkelanjutan.	Mendukung pelaksanaan pengawasan yang lebih efisien, terdokumentasi, dan berwawasan lingkungan.	Membutuhkan monitoring rutin, pemeliharaan sistem digital, dan kesinambungan komitmen pimpinan; kendala pada konsistensi implementasi di seluruh unit.

<p>2027</p>	<p>1.Institusionalisasi <i>green laboratory</i> dalam dokumen perencanaan (Renstra, Rencana Kerja Tahunan, indikator kinerja). 2.Pelaksanaan audit internal lingkungan berbasis indikator LCA. 3.Penetapan dan pemantauan target penurunan dampak lingkungan secara kuantitatif. 4.Optimalisasi pengelolaan reagen kimia, energi, air, dan limbah di seluruh unit proses. 5.Penyusunan rencana replikasi praktik laboratorium berwawasan lingkungan ke laboratorium lain.</p>	<p>Indikator lingkungan terintegrasi dalam dokumen perencanaan dan penilaian kinerja; audit internal lingkungan terlaksana minimal satu kali per tahun; tercapainya target penurunan GWP dan CED; tersusunnya rencana replikasi.</p>	<p>Menjadikan kinerja lingkungan bagian dari sistem pengawasan mutu dan akuntabilitas laboratorium secara berkelanjutan.</p>	<p>Membutuhkan regulasi internal, dukungan anggaran yang berkelanjutan, sistem pemantauan (<i>dashboard</i>) dan pelatihan auditor; kendala pada standardisasi antarunit serta kesinambungan pendanaan.</p>
-------------	---	--	--	---

4. SIMPULAN

Analisis LCA operasional laboratorium pengujian obat dan makanan tahun 2023 *mengidentifikasi Global Warming Potential* (161.601 kg CO₂-eq/jasa analisis) dan *Cumulative Energy Demand* (103.162 MJ/jasa analisis) sebagai kategori dampak lingkungan dominan, dengan hotspot utama pada tahap analisis instrumentasi dan preparasi sampel. Urutan dampak dari terbesar hingga terkecil mencakup GWP, CED, asidifikasi, eutrofikasi, karsinogenik dan toksisitas, respiratory organic, serta ozone depletion. Pendekatan LCA efektif menyusun indikator lingkungan berbasis bukti untuk pengawasan internal, dengan strategi prioritas seperti efisiensi energi, digitalisasi, konservasi air, pengelolaan sampah 3R, pengendalian reagen kimia, serta institusionalisasi indikator dalam perencanaan dan audit. Rekomendasi program spesifik meliputi OASIS untuk optimalisasi sumber daya, Counter Green Lab untuk pengurangan limbah kimia, dan Bilik Madya untuk pelatihan perilaku hijau, guna mewujudkan green laboratory berkelanjutan.

DAFTAR PUSTAKA

Badan Pengawas Obat dan Makanan RI. (2025). Transformasi laboratorium pengujian obat dan makanan mewujudkan green laboratory. Badan POM RI

Badan Pengawas Obat dan Makanan RI. (2025). Laporan Agent of Change Balai Besar POM di Semarang Tahun 2025. Semarang: BBPOM di Semarang.

Barelli, A., et al. (2024). Nine principles of green heritage science: Life cycle assessment as a tool enabling green transformation. *Heritage Science*, 12(1), 1–18

Biel, R., Smith, L., & Johnson, K. (2024). The relevance of sustainable laboratory practices. *Clinical Biochemistry Reviews*, 45(1), 15–28.

Dabbas, A., Kouloumpis, V., & Azapagic, A. (2024). Application of life cycle assessment in the pharmaceutical industry: A critical review. *Journal of Cleaner Production*, 442, 142550.

EFLM (European Federation of Clinical Chemistry and Laboratory Medicine). (2023). *Green & Sustainable Laboratories Booklet*. EFLM Task Force Green & Sustainable Laboratories.

Freese, T., et al. (2024). The relevance of sustainable laboratory practices. *Clinical Biochemistry Reviews*, 45(1), 15–28

Galli, G., Rossi, F., & Bianchi, M. (2024). Application of life cycle assessment in the pharmaceutical industry. *Sustainable Production and Consumption*, 41, 1–15.

Hari Wahyuni, R. (2024). Tinjauan Penerapan Life Cycle Assessment untuk Green Office: Studi Kasus Balai Besar POM di Semarang (Tesis Magister). Universitas Diponegoro, Semarang.

Imperative. (2022). Reducing the environmental impact of clinical laboratories. *Journal of Laboratory Medicine*, 46(4), 210–220.

ISO. (2006a). *Environmental management – Life cycle assessment: Principles and framework (ISO 14040)*. International Organization for Standardization.

ISO. (2006b). *Environmental management – Life cycle assessment: Requirements and guidelines (ISO 14044)*. International Organization for Standardization.

Kang, A. (2025). Living Lab dan LCA: Menilai dampak lingkungan dari inovasi yang hidup bersama masyarakat. Diakses dari blog Living Lab dan LCA.

Kementerian Kesehatan/Badan Pengawas Obat dan Makanan. (2022). Regionalisasi laboratorium berkelanjutan untuk pengujian obat dan makanan aman

- Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan. (2021). Pedoman penyusunan laporan penilaian daur hidup (Life Cycle Assessment)
- My Green Lab. (2018). Green Lab Resources Fact Sheet. Emory Office of Sustainability Initiatives & My Green Lab.
- My Green Lab, & Veolia Water Technologies. (2023). Environmental sustainability in the clinical laboratory. Veolia Water Technologies
- Samadikun, B. P., Syafrudin, & Hari Wahyuni, R. (2024). Analysis of cumulative energy demand potential using life cycle assessment approach: A case study of XYZ laboratory. *Jurnal Presipitasi*, 21(3), 894–906.
- Saraswati, T. C., & Assomadi, A. F. (2024). [Lengkapi sesuai sumber asli yang digunakan dalam naskah].
- Satria, E., Mulyani, S., & Rachmawati, N. (2021). Chemical waste management in educational institutions. *Journal of Environmental Science for Sustainable Development*, 4(1), 92–103.
- Shortlidge, E. E., & Bangera, G. (2024). Lab sustainability programs LEAF and My Green Lab®: Impact, user engagement, and opportunities. *Sustainable Chemistry*, 6, 387–402.
- Sunaryo, H., & Rahayu, D. (2017). A comprehensive hazardous waste management program at a university laboratory. *Journal of Cleaner Production*, 149, 116–124.
- United Nations Environment Programme (UNEP). (2023). Roadmap for national LCA database development: Guidance and recommendations from around the world.