

Analisis *Life Cycle Assessment* Sampah Rumah Tangga Untuk Mendukung Potensi Penerapan Ekonomi Sirkular Agribisnis di Kabupaten Bungo

Life Cycle Assessment Analysis of Household Waste to Support the Potential Implementation of Agricultural Circular Economy in Bungo Regency

Nurfah Khamida*, Eka Purna Yudha

Program Studi Agribisnis, Fakultas Pertanian, Universitas Padjadjaran
Jl. Ir. Soekarno Km. 21, Jatinangor – Sumedang 45363

*Email: nurfah22001@mail.unpad.ac.id

(Diterima 17-03-2026; Disetujui 07-07-2026)

ABSTRAK

Peningkatan timbunan sampah rumah tangga menjadi salah satu tantangan lingkungan yang semakin nyata, terutama di daerah yang sistem pengelolaannya masih didominasi oleh pola linear berupa pengumpulan, pengangkutan, dan pembuangan akhir di tempat pemrosesan akhir (TPA). Kondisi tersebut juga terjadi di Kabupaten Bungo, di mana sebagian besar sampah masih berakhir di TPA sehingga berpotensi menimbulkan emisi gas rumah kaca. Penelitian ini bertujuan menganalisis dampak lingkungan dari sistem pengelolaan sampah rumah tangga sekaligus mengkaji potensi pemanfaatannya dalam mendukung penerapan ekonomi sirkular pada sektor agribisnis. Penelitian menggunakan pendekatan kuantitatif deskriptif dengan metode *Life Cycle Assessment* (LCA) yang membandingkan dua skenario, yaitu sistem pengelolaan eksisting dan skenario ekonomi sirkular. Hasil analisis menunjukkan bahwa total emisi pada sistem eksisting mencapai 844,7 kg CO₂-eq per ton sampah, sedangkan pada skenario ekonomi sirkular sebesar 452,5 kg CO₂-eq per ton, sehingga terjadi penurunan emisi sebesar 46,4%. Penurunan ini terutama dipengaruhi oleh pengolahan sampah organik menjadi kompos serta pemanfaatan material daur ulang yang mampu mengurangi residu ke TPA. Dari timbunan sekitar 69 ton sampah per hari, tersedia sekitar 44 ton bahan organik yang secara teoritis dapat menghasilkan ±17 ton kompos per hari dengan nilai ekonomi sekitar Rp51–85 juta per hari. Hasil ini menunjukkan bahwa pengelolaan sampah berbasis ekonomi sirkular tidak hanya menekan dampak lingkungan, tetapi juga membuka peluang pemanfaatan kompos sebagai input dalam sistem agribisnis.

Kata kunci: *Life Cycle Assessment*, sampah rumah tangga, ekonomi sirkular, agribisnis

ABSTRACT

The increasing generation of household waste has become a growing environmental concern, particularly in regions where waste management systems are still dominated by a linear approach consisting of collection, transportation, and final disposal in landfills. This condition is also observed in Bungo Regency, where most waste ultimately ends up in landfill sites and contributes to greenhouse gas emissions. This study aims to analyze the environmental impacts of household waste management while examining its potential utilization to support the implementation of a circular economy within the agribusiness sector. The research applies a descriptive quantitative approach using the Life Cycle Assessment (LCA) method, which compares two scenarios: the existing waste management system and a circular economy scenario. The analysis shows that total emissions in the existing system reach 844.7 kg CO₂-eq per ton of waste, while the circular scenario produces 452.5 kg CO₂-eq per ton, indicating an emission reduction of 46.4%. This reduction is mainly influenced by the treatment of organic waste into compost and the recycling of inorganic materials, which reduces the amount of waste disposed of in landfills. From approximately 69 tons of waste generated daily, around 44 tons consist of organic material that could theoretically produce about 17 tons of compost per day, with an estimated economic value of IDR 51–85 million per day. These findings suggest that circular waste management not only reduces environmental impacts but also creates opportunities to utilize compost as an input in agribusiness systems.

Keywords: Life Cycle Assessment, household waste, circular economy, agribusiness

PENDAHULUAN

Produksi sampah rumah tangga menjadi salah satu persoalan lingkungan yang semakin serius seiring dengan meningkatnya jumlah penduduk dan aktivitas konsumsi masyarakat. Secara global, jumlah sampah padat diperkirakan mencapai lebih dari 2,24 miliar ton per tahun dan berpotensi meningkat hingga 3,4 miliar ton pada tahun 2050 (Kaza et al. 2018). Sebagian besar timbunan

tersebut berasal dari aktivitas rumah tangga yang menghasilkan berbagai jenis limbah organik dan anorganik. United Nations Environment Programme 2024 menyebutkan bahwa pola pengelolaan sampah yang masih bersifat linear, yaitu mengumpulkan, mengangkut, dan membuang ke tempat pemrosesan akhir (TPA), menjadi salah satu faktor utama yang memicu meningkatnya emisi gas rumah kaca dan pencemaran lingkungan.

Di Indonesia, tren timbulan sampah nasional dalam beberapa tahun terakhir menunjukkan peningkatan yang cukup signifikan. Data Sistem Informasi Pengelolaan Sampah Nasional (SIPSN) menunjukkan bahwa timbulan sampah nasional mencapai 36,1 juta ton pada tahun 2024 dan lebih dari separuhnya berasal dari rumah tangga. Peningkatan timbulan sampah sering kali lebih banyak disoroti pada kota-kota besar dengan tingkat kepadatan penduduk tinggi. Namun demikian, wilayah kabupaten juga menunjukkan dinamika peningkatan timbulan sampah yang cukup signifikan, sementara kapasitas pengelolaannya sering kali belum berkembang secara optimal. Kondisi ini menyebabkan sistem pengelolaan sampah di banyak daerah masih berfokus pada pembuangan akhir tanpa pemanfaatan kembali.

Fenomena tersebut juga terjadi di Kabupaten Bungo, Provinsi Jambi. Data Badan Pusat Statistik menunjukkan bahwa jumlah penduduk Kabupaten Bungo meningkat dari sekitar 341 ribu jiwa pada tahun 2019 menjadi 376 ribu jiwa pada tahun 2023, yang diikuti dengan peningkatan timbulan sampah dari 54,5 ribu ton menjadi sekitar 59 ribu ton pada periode yang sama. Meskipun volume sampah di daerah ini tidak sebesar kota metropolitan, laju pertumbuhan timbulan sampah yang cukup tinggi menimbulkan tantangan tersendiri dalam sistem pengelolaannya. Sebagian besar sampah rumah tangga masih berakhir di TPA dengan sistem *open dumping*, yaitu sampah dikumpulkan, diangkut, dan dibuang ke TPA tanpa pengolahan yang memadai. Sistem ini berpotensi menimbulkan berbagai dampak lingkungan, seperti pelepasan gas metana (CH_4) yang memiliki potensi pemanasan global 28 kali lebih besar dibandingkan karbon dioksida, pembentukan lindi yang dapat mencemari air tanah, serta peningkatan risiko kebakaran di area TPA (Sanjaya, Ramelan, and Hidayat 2025).

Di sisi lain, Kabupaten Bungo sebenarnya telah memiliki beberapa fasilitas pengelolaan sampah seperti Tempat Pengolahan Sampah Reduce-Reuse-Recycle (TPS3R) dan bank sampah. Namun kontribusi fasilitas tersebut terhadap pengurangan timbulan sampah masih relatif kecil. Data SIPSN menunjukkan bahwa TPS3R hanya mampu mengelola sekitar 8.488 ton sampah per tahun, sedangkan bank sampah hanya mengelola sekitar 231 ton atau kurang dari 0,5% dari total timbulan sampah tahunan. Hal ini menunjukkan bahwa potensi pemanfaatan sampah sebagai sumber daya masih belum dimanfaatkan secara optimal.

Secara konseptual, sampah rumah tangga tidak selalu harus dipandang sebagai beban lingkungan, tetapi dapat menjadi sumber daya apabila dikelola dengan pendekatan yang tepat. Sampah organik dapat diolah menjadi kompos atau pakan maggot yang bermanfaat bagi sektor pertanian dan peternakan, sedangkan sampah anorganik seperti plastik, kertas, dan logam masih memiliki nilai ekonomi apabila didaur ulang (Darmawan et al. 2025). Pendekatan ini sejalan dengan konsep ekonomi sirkular yang menekankan pemanfaatan kembali material agar tetap berada dalam siklus produksi dan tidak langsung menjadi limbah (Rapati et al. 2023). Dalam konteks wilayah seperti Kabupaten Bungo, penerapan ekonomi sirkular dalam pengelolaan sampah memiliki keterkaitan yang kuat dengan sistem agribisnis, mengingat kegiatan ekonomi masyarakat masih didominasi oleh sektor pertanian. Pemanfaatan sampah organik menjadi kompos, misalnya, berpotensi menjadi input alternatif dalam subsistem hulu agribisnis sehingga dapat mendukung praktik pertanian yang lebih berkelanjutan.

Meskipun konsep ekonomi sirkular menawarkan berbagai peluang, penerapannya masih menghadapi sejumlah kendala, seperti rendahnya kesadaran masyarakat dalam melakukan pemilahan sampah, keterbatasan infrastruktur pengolahan, serta kurangnya integrasi antara pengelolaan sampah dengan aktivitas ekonomi lokal (Hamdani et al. 2025). Oleh karena itu, diperlukan pendekatan analisis yang mampu menilai dampak lingkungan dari berbagai sistem pengelolaan sampah secara komprehensif. Salah satu metode yang banyak digunakan untuk tujuan tersebut adalah *Life Cycle Assessment* (LCA), yaitu metode yang menilai dampak lingkungan suatu produk atau sistem sepanjang siklus hidupnya mulai dari tahap awal hingga akhir (Corona et al. 2019). Melalui pendekatan ini, berbagai alternatif pengelolaan sampah seperti *landfill*, komposting, maupun daur ulang dapat dibandingkan secara kuantitatif sehingga dapat diidentifikasi sistem yang paling efisien secara lingkungan.

Berbagai penelitian sebelumnya telah menggunakan pendekatan LCA untuk mengevaluasi dampak lingkungan dari sistem pengelolaan sampah. Cheniti et al. (2024) menunjukkan bahwa penerapan skenario pengelolaan yang mengombinasikan penangkapan gas metana, komposting, dan daur ulang mampu menurunkan emisi gas rumah kaca secara signifikan dibandingkan sistem pembuangan terbuka. Ula, Prasetya, and Haryanto (2021) juga menemukan bahwa kombinasi *landfill* dengan komposting dan anaerobic digestion memberikan dampak lingkungan yang lebih rendah dibandingkan sistem konvensional. Studi lain menunjukkan bahwa peningkatan tingkat pemilahan dan daur ulang sampah rumah tangga dapat secara signifikan menekan emisi gas rumah kaca serta meningkatkan nilai ekonomi material yang dihasilkan (Adicita and Afifah 2022). Meskipun demikian, sebagian besar penelitian tersebut masih berfokus pada wilayah perkotaan atau pada sistem pengelolaan sampah secara umum, dan belum banyak yang mengaitkan hasil analisis LCA dengan potensi pemanfaatannya dalam sistem agribisnis di tingkat daerah.

Berdasarkan kondisi tersebut, masih terdapat kesenjangan penelitian terkait bagaimana analisis dampak lingkungan dari sistem pengelolaan sampah rumah tangga dapat dihubungkan dengan potensi penerapan ekonomi sirkular dalam sistem agribisnis, khususnya pada wilayah kabupaten. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis dampak lingkungan sistem pengelolaan sampah melalui pendekatan *Life Cycle Assessment*, serta mengkaji potensi pemanfaatan hasil pengolahan sampah sebagai input dalam sistem agribisnis sebagai bagian dari penerapan ekonomi sirkular.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif deskriptif untuk menganalisis dampak lingkungan dari sistem pengelolaan sampah rumah tangga serta mengkaji potensi penerapan ekonomi sirkular dalam sistem agribisnis. Penelitian dilaksanakan di Kabupaten Bungo, Provinsi Jambi. Wilayah ini dipilih karena memiliki timbunan sampah rumah tangga yang cukup tinggi, sementara sistem pengelolaannya masih didominasi oleh pola linear yang berorientasi pada pengumpulan, pengangkutan, dan pembuangan akhir di tempat pemrosesan akhir (TPA).

Penentuan sampel dilakukan menggunakan teknik purposive sampling dengan mempertimbangkan tingkat aktivitas pengelolaan, volume timbunan sampah, serta ketersediaan data operasional. Berdasarkan kriteria tersebut, tiga unit dipilih sebagai sampel penelitian, yaitu TPS3R Bungo Lintas, Bank Sampah Induk Hidayah, dan TPA Gamut. Variabel yang dianalisis meliputi timbunan sampah, komposisi sampah organik dan anorganik, konsumsi bahan bakar kendaraan pengangkut, volume pengolahan sampah pada setiap fasilitas, serta emisi gas rumah kaca yang dihasilkan dalam bentuk CO₂, CH₄, dan N₂O.

Data yang digunakan terdiri atas data primer dan data sekunder. Data primer diperoleh melalui observasi lapangan untuk mengidentifikasi alur pengelolaan sampah mulai dari pengumpulan, pengangkutan, pengolahan di TPS3R dan bank sampah, hingga pembuangan akhir di TPA. Wawancara juga dilakukan dengan pengelola fasilitas pengelolaan sampah dan pihak Dinas Lingkungan Hidup Kabupaten Bungo untuk memverifikasi aliran material serta aktivitas operasional dalam sistem pengelolaan sampah. Data sekunder diperoleh dari Sistem Informasi Pengelolaan Sampah Nasional (SIPSN), publikasi Badan Pusat Statistik, laporan Dinas Lingkungan Hidup Kabupaten Bungo, serta literatur ilmiah yang relevan.

Analisis data dilakukan menggunakan metode *Life Cycle Assessment* (LCA) berdasarkan standar ISO 14040 dan ISO 14044 untuk mengevaluasi dampak lingkungan dari sistem pengelolaan sampah rumah tangga. Analisis dilakukan melalui empat tahapan utama. Tahap pertama adalah *goal and scope definition* yang menetapkan tujuan analisis untuk membandingkan dampak lingkungan antara sistem pengelolaan sampah eksisting dan skenario pengelolaan berbasis ekonomi sirkular. Unit fungsional yang digunakan adalah 1 ton sampah rumah tangga dengan batas sistem *gate-to-grave* yang mencakup proses pengumpulan, pengangkutan, pengolahan, hingga pembuangan akhir di TPA. Tahap kedua adalah *life cycle inventory* (LCI), yaitu pengumpulan dan kuantifikasi seluruh aliran material dan energi dalam sistem pengelolaan sampah, termasuk timbunan sampah, komposisi sampah, konsumsi bahan bakar transportasi, volume pengolahan, serta emisi gas rumah kaca yang dihasilkan pada setiap tahapan. Tahap ketiga adalah *life cycle impact assessment* (LCIA), di mana data inventori dimodelkan menggunakan perangkat lunak OpenLCA versi 2.5.0 melalui *scripting* yang terhubung dengan engine OpenLCA dengan metode karakterisasi IPCC 2019 GWP 100a untuk menghitung nilai Global Warming Potential (GWP) dalam satuan kg

CO₂-eq. Tahap terakhir adalah *interpretation*, yang bertujuan mengidentifikasi tahapan pengelolaan sampah dengan kontribusi emisi terbesar serta mengevaluasi potensi perbaikan sistem melalui pendekatan ekonomi sirkular. Hasil analisis kemudian dijelaskan secara deskriptif untuk menunjukkan perbedaan dampak lingkungan antar skenario serta mengkaji potensi pemanfaatan hasil pengolahan sampah sebagai sumber daya pendukung dalam sistem agribisnis.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Gambaran Umum Pengelolaan Sampah Rumah Tangga di Kabupaten Bungo

Berdasarkan data SIPSN (2024), total timbunan sampah di Kabupaten Bungo mencapai sekitar 150 ton per hari, dengan sampah rumah tangga sebagai sumber terbesar sebesar 69,64 ton per hari. Dari sisi komposisi, fraksi organik mendominasi dengan proporsi 64,6%, terutama berupa sisa makanan, diikuti kertas dan karton, plastik, serta komponen lainnya. Tingginya kandungan organik ini secara langsung relevan dengan analisis LCA karena material organik yang ditimbun tanpa penangkapan gas merupakan penghasil utama emisi metana (CH₄) di TPA. Kondisi ini diperkuat oleh fakta bahwa pemilahan di tingkat rumah tangga belum dilakukan secara konsisten, sehingga sampah masih tiba di fasilitas pengolahan dalam kondisi tercampur.

Sistem pengelolaan yang berjalan saat ini masih berpola linear, yaitu sampah dikumpulkan, diangkut, lalu dibuang ke TPA tanpa adanya pengelolaan yang memadai. Dari total 69,64 ton sampah rumah tangga per hari, hanya sebagian kecil yang dialirkan ke TPS3R untuk pengomposan, serta ke Bank Sampah Induk untuk pengelolaan daur ulang material anorganik. Sisanya, sekitar 57,28 ton per hari (Jakstrada, 2024), berakhir di TPA Gamut yang beroperasi dengan metode controlled *landfill* namun belum dilengkapi sistem penangkapan gas metana. Ketimpangan antara kapasitas pengolahan di hulu dan dominasi pembuangan di TPA inilah yang menjadi titik tolak perbandingan dua skenario dalam penelitian ini. Temuan ini juga konsisten dengan penelitian Yulda et al. (2024) yang mencatat bahwa efektivitas TPS3R Bungo Lintas masih terbatas akibat keterbatasan sumber daya manusia, teknologi, dan partisipasi masyarakat.

Life Cycle Inventory (LCI)

Penyusunan LCI mengacu pada ISO 14044:2006 dengan unit fungsional 1 ton sampah rumah tangga. Data operasional bersumber dari Jakstrada Kabupaten Bungo (2024) dan SIPSN (2024), sedangkan faktor emisi mengacu pada pedoman IPCC (2019). Batas sistem yang diterapkan adalah gate-to-grave yang dimulai dari pengumpulan sampah hingga pemrosesan akhir di TPA. Seluruh aliran input-output dinormalisasi terhadap unit fungsional agar perbandingan antarskenario dapat dilakukan secara proporsional dan konsisten.

Dua skenario yang dimodelkan memiliki perbedaan fundamental pada aliran material menuju TPA. Pada skenario eksisting (Skenario 1), seluruh 1 ton sampah berakhir di TPA tanpa pengolahan berarti. Sebaliknya, pada skenario ekonomi sirkular (Skenario 2), dari setiap 1 ton sampah yang dikelola, sebesar 0,70 ton fraksi organik diolah di TPS3R menghasilkan 0,32 ton kompos dan 0,38 ton residu; lalu sebesar 0,30 ton fraksi anorganik masuk ke Bank Sampah menghasilkan 0,10 ton material daur ulang dan 0,20 ton residu; sehingga hanya 0,58 ton yang akhirnya masuk ke TPA. Pengalihan 42% sampah dari TPA ini menjadi kunci perbedaan emisi antarskenario yang dihitung pada tahap LCIA.

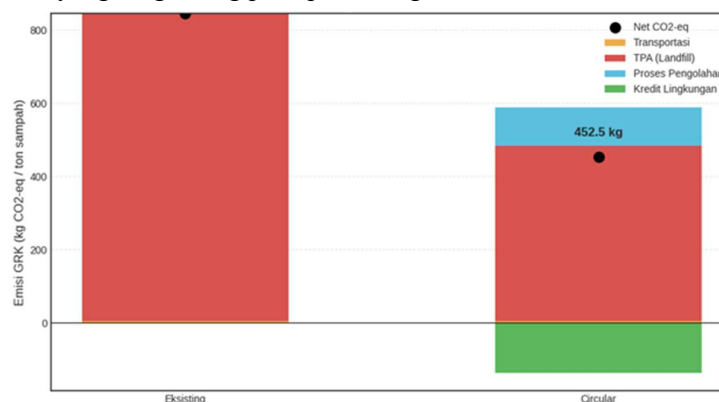
Tabel 1. *Life Cycle Inventory (LCI) Pengelolaan Sampah Rumah Tangga per 1 Ton*

Proses	Jenis Aliran	Parameter	Skenario 1 (Eksisting)	Skenario 2 (Sirkular)	Satuan
Pengumpulan	Input Material	Sampah RT	1	1	Ton
Transportasi	Input Energi	Solar	1,74	1,74	Liter
	Output Emisi	CO ₂ -eq	Dihitung LCIA	Dihitung LCIA	kg CO ₂ -eq
TPS3R	Input Material	Sampah organik	0	0,70	Ton
	Output Produk	Kompos	0	0,32	Ton
	Output Residu	Residu organik	0	0,38	Ton
	Output Emisi	CH ₄ + CO ₂	0	Dihitung LCIA	kg CO ₂ -eq

Bank Sampah	Input Material	Sampah anorganik	0	0,30	Ton
	Output Produk	Material daur ulang	0	0,10	Ton
	Output Residu	Residu anorganik	0	0,20	Ton
Landfill (TPA)	Input Material	Residu total	1,00	0,58	Ton
	Output Emisi	CH ₄ (anaerob)	Dihitung LCIA	Dihitung LCIA	kg CO ₂ -eq

Profil *Global Warming Potential*

Hasil pemodelan menggunakan OpenLCA menunjukkan perbedaan yang signifikan antara kedua skenario dalam kategori dampak *Global Warming Potential* (GWP). Skenario eksisting menghasilkan total emisi sebesar 844,7 kg CO₂-eq per ton sampah, sedangkan skenario sirkular menghasilkan 452,5 kg CO₂-eq per ton. Penerapan prinsip ekonomi sirkular dengan demikian mampu menekan emisi sebesar 392,2 kg CO₂-eq per ton sampah, setara dengan pengurangan 46,4%. Penurunan ini menunjukkan bahwa perubahan struktur pengelolaan sampah memiliki pengaruh besar terhadap kinerja lingkungan sistem. Sistem yang mengalihkan sebagian sampah menuju proses pemanfaatan kembali mampu menekan emisi gas rumah kaca secara lebih efektif dibandingkan sistem yang bergantung pada pembuangan akhir.



Gambar 1. Perbandingan Total GWP Skenario Eksisting dan Skenario Sirkular

Sumber: Hasil Analisis OpenLCA (2026)

Gambar 1 memperlihatkan perbedaan nilai GWP antara kedua skenario yang dianalisis. Pada sistem eksisting, hampir seluruh emisi berasal dari aktivitas pembuangan akhir di TPA. Sebaliknya, pada sistem sirkular, sebagian aliran sampah dialihkan menuju proses pengolahan sehingga beban emisi yang berasal dari *landfill* dapat berkurang secara signifikan.

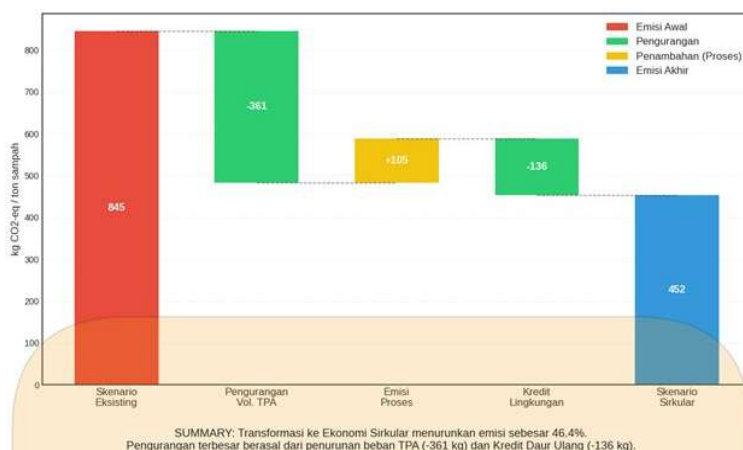
Identifikasi *Hotspot* Emisi Sistem

Analisis kontribusi emisi dilakukan untuk mengidentifikasi tahapan proses yang memberikan kontribusi terbesar terhadap total *Global Warming Potential* sistem pengelolaan sampah. Hasil analisis menunjukkan bahwa pada skenario eksisting, proses *landfilling* menjadi sumber emisi yang paling dominan dengan kontribusi lebih dari 90% dari total emisi sistem.

Dominasi ini terutama disebabkan oleh proses dekomposisi anaerobik fraksi organik yang menghasilkan gas metana (CH₄). Gas ini dilepaskan langsung ke atmosfer karena tidak adanya sistem penangkapan gas di TPA. Berdasarkan IPCC (2019), gas metana memiliki potensi pemanasan global sekitar 28 kali lebih tinggi dibandingkan CO₂ dalam horizon waktu 100 tahun. Akibatnya, meskipun jumlah massanya lebih kecil, kontribusinya terhadap perubahan iklim tetap sangat besar.

Kondisi tersebut juga banyak ditemukan pada sistem pengelolaan sampah di negara berkembang. Ula et al. (2021) melaporkan bahwa proses *landfill* dapat menyumbang lebih dari 90% nilai GWP dalam sistem pengelolaan sampah berbasis pembuangan akhir. Temuan serupa juga disampaikan oleh Ula et al. (2021) yang menunjukkan bahwa TPA yang beroperasi tanpa sistem penangkapan

gas metana cenderung menjadi sumber emisi karbon terbesar dalam sistem pengelolaan sampah. Kondisi ini juga terjadi pada TPA Gamut di Kabupaten Bungo.



Gambar 2. Analisis Kontribusi Emisi per Komponen

Pada skenario sirkular, kontribusi emisi *landfill* menurun karena sebagian sampah dialihkan menuju proses pengolahan. Emisi dari *landfill* turun menjadi sekitar 478,84 kg CO₂-eq per ton sampah, atau berkurang sekitar 361,2 kg CO₂-eq dibandingkan kondisi eksisting. Pengurangan ini terutama dipengaruhi oleh berkurangnya volume sampah organik yang ditimbun di TPA.

Perubahan tersebut menunjukkan bahwa pengurangan emisi dalam sistem pengelolaan sampah lebih banyak ditentukan oleh perubahan jalur pengolahan sampah dibandingkan peningkatan efisiensi operasional semata. Hupponen, Havukainen, and Horttanainen (2023) juga menegaskan bahwa transformasi dari sistem *landfill-oriented* menuju sistem berbasis pemulihan sumber daya secara konsisten mampu menurunkan emisi perubahan iklim.

Mekanisme Penurunan Emisi

Meskipun skenario sirkular mampu menurunkan emisi dari *landfill*, sistem ini juga memunculkan komponen emisi baru yang berasal dari aktivitas pengolahan sampah, dapat dilihat pada Gambar 2. Proses pengomposan yang dilakukan di TPS3R menghasilkan tambahan emisi sekitar 105 kg CO₂-eq per ton sampah. Emisi ini berasal dari proses dekomposisi aerobik serta penggunaan bahan bakar pada mesin pencacah dan pengayak. Namun demikian, sistem sirkular juga menghasilkan kredit lingkungan sebesar -136 kg CO₂-eq melalui mekanisme *avoided burden*. Kredit ini muncul karena produk yang dihasilkan dari proses pengolahan, seperti kompos dan material daur ulang, dapat menggantikan produk baru yang memiliki intensitas emisi lebih tinggi.

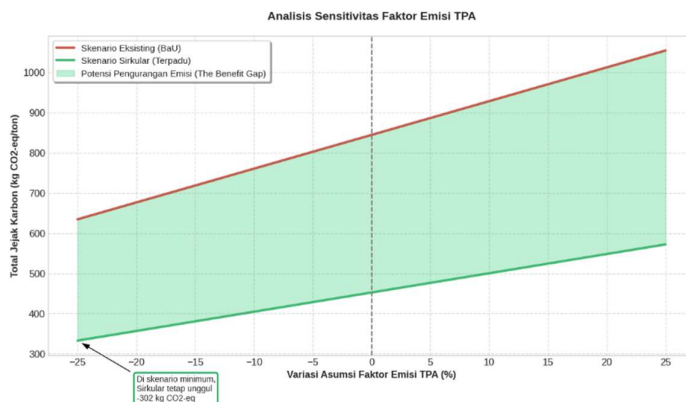
Dalam konteks LCA, mekanisme *avoided burden* digunakan untuk menghitung emisi yang dapat dihindari akibat adanya substitusi produk. Papageorgiou et al. (2024) menjelaskan bahwa mekanisme ini merupakan komponen penting dalam analisis sistem sirkular karena mampu menggambarkan manfaat lingkungan yang melampaui batas sistem pengelolaan sampah itu sendiri.

Secara keseluruhan, penurunan bersih emisi sebesar 392,2 kg CO₂-eq per ton sampah diperoleh dari kombinasi antara penurunan emisi *landfill* (-361,2 kg CO₂-eq), tambahan emisi proses pengolahan (+105 kg CO₂-eq), serta kredit lingkungan dari substitusi produk (-136 kg CO₂-eq).

Selain itu, kontribusi emisi dari transportasi dalam sistem ini relatif kecil, yaitu hanya sekitar 4,66 kg CO₂-eq atau sekitar 0,55% dari total GWP. Temuan ini menunjukkan bahwa jarak dan intensitas pengangkutan bukan faktor utama yang menentukan besarnya emisi sistem pengelolaan sampah. Hidalgo-Crespo et al. (2022) juga menemukan bahwa dalam banyak studi LCA pengelolaan sampah, pilihan teknologi pengolahan memiliki pengaruh yang jauh lebih besar terhadap emisi dibandingkan faktor logistik transportasi.

Analisis Sensitivitas

Karena *landfill* merupakan sumber emisi terbesar dalam sistem pengelolaan sampah, faktor emisi TPA diuji melalui analisis sensitivitas untuk mengevaluasi stabilitas hasil penelitian terhadap perubahan parameter. Pengujian dilakukan dengan memvariasikan faktor emisi TPA dalam rentang -25% hingga +25% dari nilai baseline. Variasi ini dipilih karena nilai faktor emisi *landfill* sangat dipengaruhi oleh kondisi operasional di lapangan, seperti kelembapan sampah, temperatur, serta konsistensi penimbunan. Variabilitas tersebut telah banyak dilaporkan dalam berbagai studi LCA pengelolaan sampah (Khandelwal et al. 2019).



Gambar 3. Analisis Sensitivitas Faktor Emisi TPA (Sumber: Hasil Analisis OpenLCA, 2026)

Hasil analisis menunjukkan bahwa meskipun nilai absolut GWP berubah mengikuti variasi parameter, persentase penurunan emisi antara kedua skenario tetap relatif stabil pada kisaran 45,7% hingga 47,6%. Bahkan pada kondisi paling pesimis ketika faktor emisi *landfill* diturunkan sebesar 25% dari nilai dasar, skenario sirkular masih menghasilkan pengurangan emisi. Temuan ini menunjukkan bahwa keunggulan skenario sirkular tidak bergantung pada satu asumsi parameter tertentu. Di Maria and Sisani (2017) juga menemukan bahwa pengalihan sampah organik dari *landfill* menuju proses pengolahan tetap menjadi strategi paling efektif dalam menurunkan GWP, meskipun terdapat variasi pada parameter sistem.

Potensi Penerapan Ekonomi Sirkular dalam Sistem Agribisnis Kabupaten Bungo

Pengurangan emisi sebesar 46,4% yang terkonfirmasi stabil oleh uji sensitivitas memberikan landasan kuantitatif yang kuat untuk mengintegrasikan pengelolaan sampah rumah tangga ke dalam sistem agribisnis Kabupaten Bungo. Ain, Auvaria, and Nurmaningsih (2022); Nurjaya and Rachmanto (2023) menyatakan bahwa pemilahan di sumber, komposting, dan daur ulang secara bersama-sama menghasilkan penurunan GWP yang lebih besar dibandingkan sistem pembuangan langsung ke TPA.

Bahramian et al. (2025) menambahkan bahwa integrasi *anaerobic digestion* dengan composting tidak hanya efektif menurunkan emisi, tetapi juga menghasilkan manfaat ekonomi dari produksi biogas, yang dapat menjadi opsi pengembangan jangka menengah untuk Kabupaten Bungo.

Pada subsistem hulu agribisnis (input produksi), kredit lingkungan sebesar -136 kg CO₂-eq per ton sampah melalui avoided burden memberikan bukti empiris bahwa kompos dari TPS3R mampu memberikan manfaat yang melampaui batas sistem persampahan. Secara konseptual, avoided burden menghitung emisi yang dapat dihindari ketika kompos menggantikan produk baru yang lebih tinggi emisinya (Papageorgiou et al. 2024). Substitusi pupuk sintetis berbasis nitrogen oleh kompos lokal sangat relevan secara lingkungan karena proses produksi pupuk nitrogen melalui Haber-Bosch mengonsumsi energi fosil yang sangat besar (Ghavam et al. 2021). Secara kuantitatif, dengan timbunan organik mencapai 44 ton per hari dan rasio konversi pengomposan aerobik sebesar 40% (AL-Saedi and Ibrahim 2019), Kabupaten Bungo berpotensi menghasilkan ±17 ton kompos per hari. Pada harga lokal Rp3.000–5.000 per kilogram, nilai ekonomi teoritis ini berkisar Rp51–85 juta per hari. Penggunaan kompos juga terbukti meningkatkan kandungan bahan organik tanah, memperbaiki struktur tanah, dan meningkatkan kapasitas retensi air (Anwar, Prasetyo, and Yulnafatmawita 2024; Rivier et al. 2022), manfaat yang sangat relevan bagi Kabupaten Bungo yang bertumpu pada sektor pertanian dan perkebunan. Bremaghani (2024) juga menegaskan bahwa pemanfaatan limbah organik menjadi kompos dapat meningkatkan nilai ekonomi sistem

pengelolaan sampah sekaligus mendukung penerapan ekonomi sirkular di sektor pertanian. Meski demikian, potensi ini masih bersifat teoritis dan dalam praktiknya menghadapi kendala kualitas produk, rendahnya pemilahan di sumber, dan terbatasnya permintaan pasar terhadap kompos dibandingkan pupuk kimia.

Pada subsistem usahatani, penurunan emisi 392,2 kg CO₂-eq per ton sampah menandakan kontribusi tidak langsung sistem sirkular terhadap produksi pangan yang lebih rendah karbon. Yuttitham (2019) menjelaskan bahwa sistem pertanian yang memanfaatkan input organik cenderung memiliki *carbon footprint* lebih rendah dibandingkan pola berbasis pupuk kimia sintetis. Ketersediaan kompos lokal membuka peluang transisi bertahap menuju pertanian rendah karbon yang dapat diformalkan melalui kebijakan integrasi kompos dalam skema bantuan input pertanian tingkat daerah, sehingga sektor pengelolaan sampah dan pertanian tidak lagi beroperasi terpisah, melainkan saling menopang dalam kerangka ekonomi sirkular.

Pada subsistem hilir, recovery rate sebesar 42% dalam skenario sirkular yang terdiri atas 32% kompos dan 10% material daur ulang menandakan pergeseran nyata dari sistem berbasis pembuangan menuju sistem berbasis *resource recovery*. Material daur ulang anorganik membuka peluang kemitraan antara Bank Sampah dan UMKM pengolahan hasil pertanian untuk kemasan berbahan daur ulang. Ncube et al. (2021) menjelaskan bahwa kemasan daur ulang untuk produk pangan dan pertanian dapat menurunkan konsumsi bahan baku baru serta mengurangi jejak karbon produk. Geueke, Groh, and Muncke (2018) menegaskan bahwa kemasan berkelanjutan semakin menjadi tuntutan rantai pasok global. Kirchherr et al. (2018) menekankan bahwa prinsip ekonomi sirkular paling efektif ketika penutupan siklus material dilakukan dalam wilayah yang sama, yang persis sesuai dengan konteks Kabupaten Bungo.

Pada subsistem penunjang, fakta bahwa lebih dari 90% emisi skenario eksisting bersumber dari satu titik yakni TPA menegaskan bahwa pengurangan residu *landfill* adalah prioritas tertinggi dalam perbaikan sistem. Khandelwal et al. (2019) menjelaskan bahwa besarnya GWP dalam sistem pengelolaan sampah sangat ditentukan oleh proporsi sampah yang masuk ke *landfill*. Oleh karena itu, penguatan pemilahan di sumber, peningkatan kapasitas mesin di TPS3R, serta sinkronisasi kebijakan antara DLH dan Dinas Pertanian menjadi prasyarat agar kompos dan material daur ulang yang dihasilkan memiliki kualitas memadai dan terserap pasar secara optimal. Dengan terpenuhinya prasyarat tersebut, sampah rumah tangga di Kabupaten Bungo dapat bertransformasi dari sekadar sumber beban lingkungan menjadi sumber daya strategis dalam sistem pembangunan agribisnis rendah karbon yang lebih berkelanjutan.

KESIMPULAN

Sistem pengelolaan sampah rumah tangga di Kabupaten Bungo masih didominasi oleh pola linear dengan fokus utama pada pembuangan akhir di TPA Gamut. Hasil analisis *Life Cycle Assessment* (LCA) menunjukkan bahwa penerapan skenario ekonomi sirkular memiliki kinerja lingkungan yang lebih baik dibandingkan sistem eksisting. Total emisi pada skenario eksisting sebesar 844,7 kg CO₂-eq per ton sampah, sedangkan pada skenario sirkular sebesar 452,5 kg CO₂-eq per ton, sehingga terjadi penurunan emisi sebesar 392,2 kg CO₂-eq atau sekitar 46,4%. Meskipun terdapat tambahan emisi operasional dari proses pengolahan, sistem sirkular tetap memberikan manfaat lingkungan melalui mekanisme *avoided burden* dari pemanfaatan kompos dan material daur ulang.

Selain memberikan manfaat lingkungan, pemanfaatan sampah rumah tangga juga memiliki potensi untuk mendukung penerapan ekonomi sirkular dalam sistem agribisnis di Kabupaten Bungo. Dari total timbunan sampah sekitar 69 ton per hari, potensi bahan baku kompos dari sampah organik diperkirakan mencapai 44 ton per hari. Dengan asumsi tingkat konversi kompos sebesar 40%, potensi produksi kompos dapat mencapai sekitar ±17 ton per hari yang berpotensi memberikan nilai ekonomi sekitar Rp51–85 juta per hari.

Berdasarkan hasil tersebut, pemerintah daerah perlu memperkuat program pemilahan sampah di tingkat rumah tangga serta meningkatkan kapasitas operasional fasilitas pengolahan sampah yang telah tersedia. Integrasi antara pengelolaan sampah dan sektor pertanian juga perlu didorong melalui pemanfaatan kompos dan material daur ulang untuk mendukung pengembangan sistem agribisnis yang lebih berkelanjutan.

DAFTAR PUSTAKA

- Adicita, Yosef, and Anshah Silmi Afifah. 2022. "Analisis Sistem Pemilihan Dan Daur Ulang Sampah Rumah Tangga Di Daerah Perkotaan Menggunakan Pendekatan Life Cycle Assessment (LCA)." *Jurnal Ilmu Lingkungan* 20(2):406–13. doi: 10.14710/jil.20.2.406-413.
- Ain, Thayyibah Nazlatul, Shinfi Wazna Auvaria, and Dyah Ratri Nurmaningsih. 2022. "Estimation of the Global Warming Potential (GWP) in the Scenario of Domestic Waste Management in Sukabumi City." *Jurnal Teknologi Lingkungan* 23(2):214–21. doi: 10.29122/jtl.v23i2.4919.
- AL-Saedi, Zainab Zamil, and Jathwa Abdul Kareem Ibrahim. 2019. "Aerobic Municipal Solid Waste Compost Quality According to Different Layers of Composting Bioreactor." *Association of Arab Universities Journal of Engineering Sciences* 26(3):7–16. doi: 10.33261/jaaru.2019.26.3.002.
- Anwar, Al Hidayati Maulana, Teguh Budi Prasetyo, and Yulnafatmawita Yulnafatmawita. 2024. "Peranan Biochar Dan Kompos Dalam Meningkatkan Retensi Air Dan Produksi Jagung Manis (Zea Mays L. Var. Saccharata) Pada Tanah Bertekstur Kasar." *Agrikultura* 35(2):238–49. doi: 10.24198/agrikultura.v35i2.53995.
- Badan Pusat Statistik Kabupaten Bungo. (2025). Kabupaten Bungo dalam angka 2025. Badan Pusat Statistik Kabupaten Bungo.
- Bahramian, Majid, Courage Krah, Paul Hynds, and Anushree Priyadarshini. 2025. "An Environmental and Economic Assessment of Household Food Waste Management Scenarios in Ireland." *Recycling* 10(3). doi: 10.3390/recycling10030094.
- Bappenas. (2024). *Peta Jalan dan Rencana Aksi Nasional Ekonomi Sirkular Indonesia 2025–2045*.
- Bremaghani, Ade. 2024. "Utilization of Organic Waste in Compost Fertilizer Production: Implications for Sustainable Agriculture and Nutrient Management." *Law and Economics ISSN* 18(02):86–98.
- Cheniti, Hamza, Kaouther Kerboua, Omar Sekiou, Hani Amir Aouissi, Aissa Benselhou, Rachida Mansouri, Ibtissem Zeriri, Karima Barbari, Jadranka Blazevska Gilev, and Zihad Bouslama. 2024. "Life Cycle Assessment of Municipal Solid Waste Management within Open Dumping and Landfilling Contexts: A Strategic Analysis and Planning Responses Applicable to Algeria." *Sustainability (Switzerland)* 16(16). doi: 10.3390/su16166930.
- Corona, Blanca, Li Shen, Denise Reike, Jesús Rosales Carreón, and Ernst Worrell. 2019. "Towards Sustainable Development through the Circular Economy—A Review and Critical Assessment on Current Circularity Metrics." *Resources, Conservation and Recycling* 151(September 2019):104498. doi: 10.1016/j.resconrec.2019.104498.
- Creswell, J. W., & David Creswell, J. (2018). *Research Design: Qualitative, Quantitative, and Mixed Methods Approaches*.
- Darmawan, Arif, Madi Hartono, Hadi Prayitno, Ambya, Sri Andayani, and Carmelia Lutviati. 2025. "Enhancing the Economic Value of Waste with Maggot Utilization in Village-Owned Enterprises of Arthomoro Based on Circular Economy." *Community: Jurnal Pengabdian Pada Masyarakat* 5(1):1–11. doi: 10.51903/v375g469.
- Ellen MacArthur Foundation. (2024b). Global Commitment 2024 Report. 1–29.
- Geueke, Birgit, Ksenia Groh, and Jane Muncke. 2018. "Food Packaging in the Circular Economy: Overview of Chemical Safety Aspects for Commonly Used Materials." *Journal of Cleaner Production* 193:491–505. doi: 10.1016/j.jclepro.2018.05.005.
- Ghavam, Seyedehhoma, Maria Vahdati, I. A. Gran. Wilson, and Peter Styring. 2021. "Sustainable Ammonia Production Processes." *Frontiers in Energy Research* 9(March):1–19. doi: 10.3389/fenrg.2021.580808.
- Hamdani, Rizki, Jannahar Saddam Ash Shidiqie, Unggul Priyadi, Umi Dinurri Anah, and Akmal Inan Hafidh Adli. 2025. "Optimization of Organic Waste Management with a Circular Economy Approach: The Case of Food Recycling in Bantul Regency, Indonesia." *Pengabdian UNDIKMA: Jurnal Hasil Pengabdian & Pemberdayaan Kepada Masyarakat* 6(2):278–87. doi: 10.33394/jpu.v6i2.14238.
- Hidalgo-Crespo, J., C. M. Moreira, F. X. Jervis, M. Soto, J. L. Amaya, and L. Banguera. 2022. "Circular Economy of Expanded Polystyrene Container Production: Environmental Benefits

- of Household Waste Recycling Considering Renewable Energies.” *Energy Reports* 8:306–11. doi: 10.1016/j.egy.2022.01.071.
- Hupponen, Mari, Jouni Havukainen, and Mika Hortalainen. 2023. “Long-Term Evolution of the Climate Change Impacts of Solid Household Waste Management in Lappeenranta, Finland.” *Waste Management* 157(June 2022):69–81. doi: 10.1016/j.wasman.2022.11.038.
- IPCC, 2019. 2019 Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Volume 5: Waste. Buendia, E.C., Guangsheng, M., Ngara, T. and Tanabe, K. (eds). Switzerland: Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC).
- Kaza, Silpa, Lisa Yao, Perinaz Bhasda-Tata, and Frank Van Woerden. 2018. *What a Waste 2.0 : A Global Snapshot of Solid Waste Management to 2050*. The World Bank.
- Khandelwal, Harshit, Arun Kumar Thalla, Sunil Kumar, and Rakesh Kumar. 2019. “Life Cycle Assessment of Municipal Solid Waste Management Options for India.” *Bioresource Technology* 288(March):121515. doi: 10.1016/j.biortech.2019.121515.
- Kirchherr, Julian, Laura Piscicelli, Ruben Bour, Erica Kostense-Smit, Jennifer Muller, Anne Huibrechtse-Truijens, and Marko Hekkert. 2018. “Barriers to the Circular Economy: Evidence From the European Union (EU).” *Ecological Economics* 150(April):264–72. doi: 10.1016/j.ecolecon.2018.04.028.
- Di Maria, Francesco, and Federico Sisani. 2017. “Greenhouse Gas Emissions and Environmental Impact from Recycling the Organic Fraction of Solid Waste: Comparison of Different Treatment Schemes from a Life Cycle Perspective.” *Recycling* 2(3):4–6. doi: 10.3390/recycling2030013.
- Ncube, Lindani Koketso, Albert Uchenna Ude, Enoch Nifise Ogunmuyiwa, Rozli Zulkifli, and Isaac Nongwe Beas. 2021. “An Overview of Plasticwaste Generation and Management in Food Packaging Industries.” *Recycling* 6(1):1–25. doi: 10.3390/recycling6010012.
- Nurjaya, Luh Asri Ningsih Widhi, and Tuhu Agung Rachmanto. 2023. “Potensi Produksi Gas Metana (CH₄) Dari Kegiatan Landfilling TPA Di Bengkala Kabupaten Buleleng Dengan Kombinasi Pemodelan LandGem, IPCC Dan LCA.” *Envirotek: Jurnal Ilmiah Teknik Lingkungan* 15(2):114–23.
- Papageorgiou, Asterios, Anna Björklund, Rajib Sinha, Maria Livia Real de Almeida, and Bernhard Steubing. 2024. “Coupling Material and Energy Flow Analysis with Life Cycle Assessment to Support Circular Strategies at the Urban Level.” *International Journal of Life Cycle Assessment* 29(7):1209–28. doi: 10.1007/s11367-024-02320-y.
- Rapati, Rr. Citra, Abednego Victor, Aulia Rani Raharjo, and Ani Nuraisyah. 2023. “Plastic Waste Management to Support The Circular Economy in The Pulp and Paper Industry.” *Business Review and Case Studies* 4(1):1–11. doi: 10.17358/brcs.4.1.1.
- Rivier, Pierre Adrien, Dorina Jamniczky, Attila Nemes, András Makó, Gyöngyi Barna, Nikolett Uzing, Márk Rékási, and Csilla Farkas. 2022. “Short-Term Effects of Compost Amendments to Soil on Soil Structure, Hydraulic Properties, and Water Regime.” *Journal of Hydrology and Hydromechanics* 70(1):74–88. doi: 10.2478/johh-2022-0004.
- Sanjaya, Zabilla Tomy, Ari Handono Ramelan, and Agung Hidayat. 2025. “Spatial Analysis of the Impact of Leachate on Groundwater around Sukosari Open Dumping, Karanganyar, Central Java, Indonesia.” *Asian Journal of Environment & Ecology* 24(1):97–111. doi: 10.9734/ajee/2025/v24i1654.
- Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan. (2025). *Sistem Informasi Pengelolaan Sampah Nasional (SIPSN)*.
- Ula, Rahmah Arfiyah, Agus Prasetya, and Iman Haryanto. 2021. “Life Cycle Assessment (LCA) Pengelolaan Sampah Di TPA Gunung Panggung Kabupaten Tuban, Jawa Timur.” *Jurnal Teknologi Lingkungan* 22(2):147–61. doi: 10.29122/jtl.v22i2.4690.
- United Nations Environment Programme. 2024. *Global Waste Management Outlook 2024: Beyond an Age of Waste- Turning Rubbish into a Resource*. International Solid Waste Association.
- Yuttitham, Monthira. 2019. “Comparison of Carbon Footprint of Organic and Conventional Farming of Chinese Kale.” *Environment and Natural Resources Journal* 17(1):78–92. doi: 10.32526/ennrj.17.1.2019.08.

