

Estimated Greenhouse Gas Emissions from The Composting Process of Organic Waste in Karawang's Urban Forest

Hurrul'Ain Quinizza*, Wilma Nurrul Adzillah, Gina Lova Sari

¹Program Studi Teknik Lingkungan, Universitas Singaperbangsa Karawang, Karawang, Indonesia;

Article History

Received : January 14th, 2026

Revised : March 13th, 2026

Accepted : March 24th, 2026

*Corresponding Author:

Hurrul'Ain Quinizza,
Program Studi Teknik
Lingkungan, Universitas
Singaperbangsa Karawang,
Karawang, Indonesia;

Email:

wilma.nurrul@ft.unsika.ac.id

Abstract: The accumulation of organic waste in the form of leaves and branches that is not optimally managed in Karawang Regency has the potential to increase GHG emissions through the natural decomposition process. This study aims to estimate the amount of organic waste and GHG emissions generated from the management of leaves and twigs in the Karawang Urban Forest. The study was conducted using quantitative and qualitative approaches with purposive sampling of organic waste over eight days of observation, representing active waste management activities at the study site. GHG emissions were estimated using the 2006 IPCC Tier-1 guidelines due to limited local specific data, covering the waste sector (composting) and the energy sector (use of machinery and transportation). The results showed that the composting process produced relatively low GHG emissions compared to supporting activities, while the transportation sector was the largest contributor to emissions in the organic waste management system. These findings indicate that GHG emission mitigation strategies in organic waste management in urban areas need to focus on improving transportation and operational efficiency, accompanied by strengthening controlled aerobic composting practices to support more sustainable environmental management.

Keywords: Composting; Greenhouse gas Emissions; IPCC 2006; Organic waste.

Pendahuluan

Pengelolaan sampah organik masih menjadi permasalahan lingkungan yang signifikan di Kabupaten Karawang, khususnya sampah berupa daun dan ranting yang banyak dihasilkan dari taman kota dan ruang terbuka hijau (RTH). Berdasarkan data Sistem Informasi Pengelolaan Sampah Nasional (SIPSN) tahun 2024, timbulan sampah di Kabupaten Karawang mencapai 1.066,97 ton/hari atau 389.444,24 ton/tahun, sementara jumlah sampah yang tertangani hanya sebesar 140.072,32 ton/tahun. Secara nasional, komposisi sampah didominasi oleh sisa makanan sebesar 43,80%, sedangkan kategori kayu, ranting, dan daun tercatat sebesar 0% (SIPSN, 2024). Kondisi ini menunjukkan adanya kesenjangan antara data statistik dan kondisi aktual di lapangan, yang mengindikasikan perlunya pendalaman metode pencatatan dan kajian spesifik terhadap jenis sampah organik non-rumah tangga, khususnya dari kawasan RTH.

Sampah daun dan ranting yang tidak dikelola dengan baik berpotensi mengalami pembusukan secara anaerob di lokasi penumpukan terbuka atau Tempat Pembuangan Akhir (TPA). Proses ini berkontribusi terhadap pelepasan gas rumah kaca (GRK) seperti metana (CH₄), dinitrogen oksida (N₂O), dan karbon dioksida (CO₂) yang berperan dalam percepatan perubahan iklim global (KLHK, 2022). Oleh karena itu, estimasi emisi GRK dari pengelolaan sampah organik menjadi penting sebagai dasar perumusan strategi mitigasi perubahan iklim yang berbasis data ilmiah dan kondisi lokal.

Salah satu metode pengelolaan sampah organik yang dinilai ramah lingkungan dan berkelanjutan adalah pengomposan. Penelitian Anifah *et al.*, (2021) menunjukkan bahwa pengomposan mampu menurunkan emisi GRK hingga 62,34% dibandingkan pengelolaan konvensional. Secara ilmiah, pengomposan merupakan proses dekomposisi bahan organik secara aerobik yang menghasilkan emisi GRK relatif lebih rendah apabila dikelola dengan baik

(IPCC, 2006). Di Kabupaten Karawang, praktik pengomposan mulai diterapkan di Hutan Kota Karawang (HKK), yang memanfaatkan daun dan ranting sebagai bahan baku kompos. Lingkungan yang relatif terkendali serta dominasi aktivitas pengelolaan sampah organik menjadikan lokasi ini representatif sebagai objek penelitian untuk estimasi emisi GRK berbasis data lapangan (Waste4Change, 2021).

Hingga saat ini, penelitian yang secara spesifik mengkaji emisi GRK dari pengelolaan sampah daun dan ranting di kawasan RTH, khususnya di Kabupaten Karawang, masih sangat terbatas. Berbeda dengan penelitian sebelumnya yang umumnya berfokus pada sampah rumah tangga, penelitian ini menitikberatkan pada sampah organik non-rumah tangga serta mengintegrasikan perhitungan emisi dari sektor limbah dan sektor energi dalam satu batasan sistem mengacu pada pedoman IPCC 2006. Penelitian ini bertujuan untuk mengestimasi emisi CO₂, CH₄, dan N₂O dari aktivitas pengelolaan sampah organik di HKK, mengevaluasi efektivitas pengomposan dalam menurunkan emisi GRK, serta merumuskan upaya optimalisasi proses pengomposan sebagai kontribusi terhadap pengurangan emisi GRK di tingkat kawasan perkotaan.

Selain memberikan manfaat dalam pengurangan volume sampah yang masuk ke TPA, pengomposan juga berperan dalam mendukung konsep ekonomi sirkular melalui pemanfaatan kembali unsur hara yang terkandung dalam limbah organik. Kompos yang dihasilkan dapat digunakan sebagai pembenah tanah pada kawasan ruang terbuka hijau dan sektor pertanian, sehingga mengurangi ketergantungan terhadap pupuk kimia sintesis yang proses produksinya memerlukan energi tinggi dan menghasilkan emisi karbon yang signifikan. Penelitian Pérez *et al.*, (2023) menunjukkan bahwa pengomposan limbah organik memiliki potensi mitigasi perubahan iklim yang lebih baik dibandingkan pembuangan ke landfill karena mampu mengurangi pembentukan metana serta meningkatkan penyimpanan karbon dalam tanah. Di sisi lain, kajian Nordahl *et al.*, (2023) menegaskan bahwa besarnya emisi CO₂, CH₄, dan N₂O selama proses pengomposan sangat dipengaruhi oleh karakteristik bahan baku, kadar air, aerasi, dan pengelolaan tumpukan kompos. Oleh karena itu, pengukuran dan estimasi emisi GRK pada fasilitas pengomposan aktual menjadi penting

untuk menghasilkan data yang lebih representatif bagi penyusunan inventarisasi emisi sektor limbah.

Perkembangan penelitian terbaru juga menunjukkan bahwa pengelolaan parameter operasional selama proses pengomposan dapat secara signifikan menekan emisi GRK. Fredenslund *et al.*, (2026) melaporkan bahwa pengomposan sampah taman (garden waste) yang dikelola dengan sistem aerasi dan pembalikan tumpukan yang optimal mampu mengurangi pembentukan CH₄ dan N₂O dibandingkan pengomposan yang tidak terkontrol. Sejalan dengan hal tersebut, He *et al.* (2026) mengidentifikasi bahwa laju aerasi, kadar kelembapan, dan lama waktu pengomposan merupakan faktor utama yang memengaruhi besarnya emisi GRK selama proses dekomposisi bahan organik. Temuan-temuan tersebut menunjukkan bahwa efektivitas pengomposan tidak hanya ditentukan oleh penerapannya sebagai metode pengolahan sampah, tetapi juga oleh kualitas pengelolaan proses yang dilakukan. Dengan demikian, evaluasi emisi GRK pada fasilitas pengomposan di HKK menjadi relevan untuk menilai kinerja lingkungan sistem pengelolaan sampah organik yang telah diterapkan sekaligus memberikan rekomendasi perbaikan berbasis data ilmiah.

Bahan dan Metode

Metode Pengumpulan Data

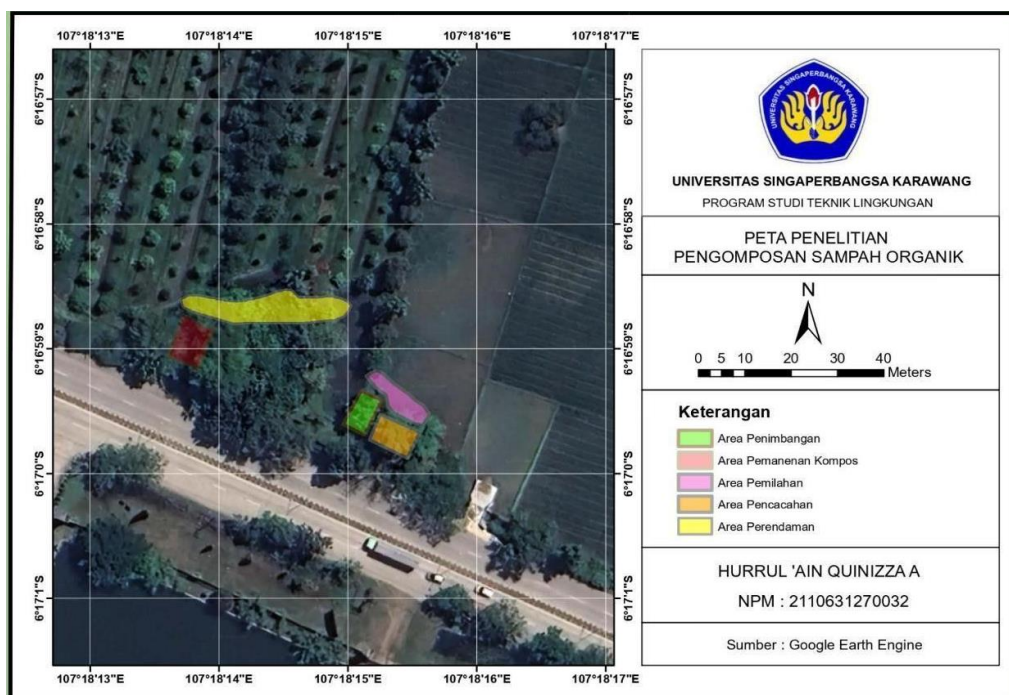
Penelitian ini merupakan penelitian deskriptif dengan pendekatan kuantitatif dan kualitatif yang dilaksanakan pada bulan Juli 2025 di HKK, yang berlokasi di Jalan Lingkar Tanjungpura No. 10, Kelurahan Nagasari, Kecamatan Karawang Barat, Kabupaten Karawang, Provinsi Jawa Barat (6°16'58,16" LS; 107°18'12,71" BT). Pendekatan kuantitatif digunakan untuk menghitung timbulan sampah organik dan mengestimasi emisi GRK, sedangkan pendekatan kualitatif digunakan untuk menggambarkan kondisi operasional pengelolaan sampah organik berdasarkan hasil observasi lapangan dan wawancara. Data penelitian terdiri atas data primer dan data sekunder. Data primer diperoleh melalui pengukuran langsung timbulan dan komposisi sampah organik, pengamatan proses pengelolaan sampah, serta wawancara dengan petugas pengelola dan pengangkut sampah. Data sekunder diperoleh dari dokumen teknis DLHK Kabupaten Karawang, SNI 3964:2025, data

akademik Universitas Singaperbangsa Karawang periode 2020–2021, serta pedoman IPCC 2006.

Populasi penelitian mencakup seluruh sampah organik berupa daun dan ranting yang berasal dari aktivitas pemeliharaan kawasan HKK serta hasil pemangkasan pohon di sepanjang jalan raya wilayah Karawang Barat dan Karawang Timur. Unit analisis meliputi timbulan dan komposisi sampah organik, tahapan pengelolaan sampah (pengumpulan, pencacahan, pengomposan, dan transportasi), serta konsumsi bahan bakar peralatan dan kendaraan pendukung. Pengambilan sampel dilakukan menggunakan teknik purposive sampling, yaitu pemilihan sampah organik yang dikelola melalui proses pengomposan aktif selama periode pengamatan, dengan mempertimbangkan jenis sampah dan aktivitas pengelolaan sesuai dengan SNI 3964:2025. Variabel kuantitatif yang dianalisis

meliputi timbulan sampah dan konsumsi bahan bakar, sedangkan variabel kualitatif meliputi kondisi operasional dan praktik pengelolaan sampah organik.

Batasan sistem penelitian mencakup seluruh aktivitas pengelolaan sampah organik di HKK, mulai dari pengumpulan, pencacahan, hingga proses pengomposan secara aerobik. Perhitungan emisi GRK dari timbulan sampah organik dilakukan menggunakan pedoman IPCC 2006 sektor limbah. Selain itu, emisi GRK dari aktivitas pendukung berupa penggunaan mesin pemotong rumput, mesin pencacah, dan transportasi pengangkutan sampah dihitung menggunakan pedoman IPCC 2006 sektor energi. Emisi yang diperhitungkan meliputi CO₂, CH₄, dan N₂O dengan menggunakan faktor emisi default.



Gambar 1. Peta Penelitian

Perhitungan Timbulan Sampah Organik yang akan dibuat menjadi Kompos

Pengukuran limbah organik dilakukan selama delapan hari berturut-turut selama musim kemarau sesuai dengan pedoman SNI 3964:2025. Data yang diperoleh kemudian digunakan untuk memperkirakan jumlah limbah dalam satu tahun, dengan asumsi bahwa kondisi dan pola pembentukan sampah organik tidak mengalami perubahan yang signifikan sepanjang tahun. Oleh karena itu, perhitungan tahunan ini dipahami sebagai perkiraan rata-rata yang menggambarkan

kondisi pengelolaan sampah organik di HKK. Rumus perhitungan sampah organik disajikan pada **Persamaan 1**.

$$\text{Timbulan} = \frac{\text{Timbulan Sampah Organik Pada Hari } i}{8 \text{ hari}} \quad (1)$$

$$\text{Jumlah Penduduk} \times \text{Laju Timbulan Sampah} \times \text{Komposisi Sampah Organik} \quad (2)$$

$$\text{Komposisi} = \frac{\text{Timbulan Sampah Organik } i}{\text{Total Timbulan Sampah}} \times 100 \quad (3)$$

P erhitungan Estimasi Emisi GRK

Perhitungan emisi GRK dilakukan menggunakan pendekatan Tier-1 berdasarkan IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories (2006). Faktor emisi yang digunakan merupakan faktor emisi baku (default) IPCC yang disesuaikan dengan jenis bahan bakar. Mesin pencacah dan mesin pemotong rumput menggunakan bahan bakar RON 92, sehingga faktor emisi yang digunakan mengacu pada faktor emisi bensin untuk sumber tak bergerak. Sementara itu, kendaraan pengangkut sampah dikategorikan sebagai sumber bergerak berbahan bakar RON 92.

Pendekatan Tier-1 dipilih karena keterbatasan data teknis rinci, namun dinilai memadai untuk estimasi awal dan analisis kontribusi emisi pada skala kawasan yang didasarkan pada data aktivitas dan faktor emisi IPCC 2006 sektor limbah. Pehitungan untuk metode pengolahan biologi pada Persamaan 4 dan Persamaan 5.

a. Emisi CH₄

$$E = (Mi \times EFi) \times 10^{-3} - R \quad (4)$$

b. Emisi N₂O

$$E = (Mi \times EFi) \times 10^{-3} \quad (5)$$

Pengolahan data pada mesin pencacah sampah organik dan mobilisasi kendaraan pengangkut sampah organik ke hutan kota menggunakan pendekatan Tier-1, yang didasarkan pada IPCC 2006 Sektor pengadaan dan penggunaan energi.

$$\text{Emisi}_{\text{GRK, BB}} = \text{Konsumsi BB} \times \text{Faktor Emisi}_{\text{GRK, BB}} \quad (6)$$

Hasil dan Pembahasan

Estimasi Emisi Gas Rumah Kaca Total dari Aktivitas di Hutan Kota Karawang (HKK) Tahun 2025

Hasil perhitungan menunjukkan bahwa total emisi GRK yang dihasilkan dari aktivitas pengelolaan sampah organik dan kegiatan pendukung di HKK pada tahun 2025 sebesar 17.419,54 CO₂-eq. Kontribusi emisi terbesar berasal dari aktivitas transportasi pengangkutan sampah (Sitogasa, 2022), sedangkan kontribusi terendah berasal dari timbulan sampah organik yang dikomposkan. Distribusi emisi GRK dari masing-masing aktivitas pengelolaan sampah disajikan pada **Tabel 2**.

Tabel 2. Emisi GRK pada Aktivitas di Hutan Kota Karawang

No.	Emisi Gas Rumah Kaca	Nilai
1.	Emisi GRK dari timbulan sampah organik tahun 2025	E = 3,34 CO ₂ -eq
2.	Emisi GRK dari mesin pemotong rumput	E = 1.427,00 CO ₂ -eq
3.	Emisi GRK dari mesin pencacah	E = 571,00 CO ₂ -eq
4.	Emisi GRK dari kendaraan pengangkut sampah	E = 15.418,20 CO ₂ -eq
Total		E = 17.419,54 CO₂ eq

Dominasi emisi GRK dari sektor transportasi menunjukkan bahwa aktivitas pendukung memiliki kontribusi emisi yang jauh lebih besar dibandingkan proses pengolahan sampah organik itu sendiri. Kondisi ini disebabkan oleh tingginya konsumsi bahan bakar kendaraan pengangkut sampah yang beroperasi secara rutin dengan rute yang relatif panjang dan frekuensi tinggi. Temuan ini mengindikasikan bahwa strategi pengurangan emisi GRK dalam pengelolaan sampah organik tidak hanya perlu difokuskan pada pengolahan limbah, tetapi juga pada optimalisasi sistem transportasi.

Secara teoritis, sektor energi, khususnya transportasi berbahan bakar fosil, merupakan salah satu penyumbang utama emisi CO₂ dalam sistem pengelolaan sampah perkotaan (IPCC, 2019). Hasil penelitian ini sejalan dengan temuan Hidayati (2023) dan Oktafayanza, dkk (2021) yang menunjukkan bahwa emisi GRK dari pengangkutan sampah dapat melampaui emisi dari proses pengolahan limbah. Implikasi praktis dari hasil ini adalah perlunya kebijakan pengurangan emisi melalui optimalisasi rute, efisiensi kendaraan, serta potensi penggunaan bahan bakar rendah emisi dalam sistem pengangkutan sampah kawasan perkotaan.

Emisi Gas Rumah Kaca pada Mesin Pemotong Rumput

Mesin pemotong rumput digunakan untuk memangkas rumput pada area HKK. Estimasi emisi CO₂ membutuhkan data konsumsi bahan bakar dan faktor emisi sumber tak bergerak yang mengacu pada pedoman (IPCC, 2006; IPCC, 2019). Selama pengambilan sampel, mesin membutuhkan 1-2 L bahan bakar RON 92 untuk 1-2 jam pemakaian setiap 3 hari sekali selama 8

hari pengambilan sampel. Sehingga, total konsumsi bahan bakar mencapai 5 L bahan bakar RON 92.

Untuk mendapatkan nilai konsumsi bahan bakar tahunan, hasil konsumsi selama sampling dikonversi dengan mengalikannya dengan 52 minggu. Nilai konsumsi bahan bakar tahunan tersebut kemudian digunakan untuk menghitung emisi CO₂, CH₄, dan N₂O. Selanjutnya, hasil perhitungan emisi dalam satuan kilogram dikonversi menjadi satuan Gg dengan membaginya dengan satu juta. Untuk mendapatkan nilai emisi dalam bentuk CO₂-eq, masing-masing gas dikalikan dengan nilai GWP, yaitu CO₂ dikalikan 1, CH₄ dikalikan 27, dan N₂O dikalikan 273 (IPCC, 2021). Berdasarkan hasil perhitungan tersebut, Emisi GRK dari mesin pemotong rumput mencapai 1.427 CO₂-eq/tahun, yang lebih tinggi dibandingkan mesin pencacah.

Hal ini sejalan dengan temuan Hao Wang (2020) dan Ang *et al.*, (2022) yang menyatakan bahwa frekuensi operasional tinggi dan durasi pemakaian mesin kecil berbahan bakar bensin dapat menghasilkan emisi GRK signifikan dalam kegiatan pemeliharaan ruang terbuka hijau perkotaan. Hal ini disebabkan oleh frekuensi penggunaan mesin pemotong rumput yang lebih sering dan durasi operasional yang lebih panjang. Setelah dilakukan penyesuaian faktor emisi sesuai jenis bahan bakar bensin, hasil estimasi menjadi lebih konsisten secara metodologis dan mencerminkan kondisi operasional aktual di lapangan.

Emisi Gas Rumah Kaca pada Mesin Pencacah

Berdasarkan hasil perhitungan, emisi GRK yang dihasilkan dari penggunaan mesin pencacah sebesar 571,00 CO₂-eq/tahun. Nilai ini menunjukkan bahwa mesin pencacah memberikan kontribusi emisi yang relatif kecil dibandingkan aktivitas transportasi. Rendahnya emisi GRK dari mesin pencacah disebabkan oleh frekuensi penggunaan yang terbatas serta durasi operasional yang relatif singkat. Mesin pencacah hanya dioperasikan pada saat pengolahan sampah organik tertentu, sehingga konsumsi bahan bakarnya jauh lebih rendah dibandingkan kendaraan pengangkut sampah.

Hasil ini sejalan dengan penelitian Anifah *et al.* (2021) yang menyatakan bahwa emisi dari peralatan pengolahan sampah skala lokal relatif kecil dibandingkan sektor transportasi. Meskipun demikian, peningkatan jumlah mesin pencacah di masa depan tetap perlu mempertimbangkan

efisiensi energi agar tidak meningkatkan emisi GRK secara signifikan.

Selain dipengaruhi oleh frekuensi penggunaan dan durasi operasional, besarnya emisi GRK dari mesin pencacah juga berkaitan dengan efisiensi pembakaran bahan bakar dan kapasitas pengolahan alat. Mesin yang memiliki kapasitas pencacahan lebih besar umumnya mampu mengolah volume sampah yang lebih banyak dalam waktu yang lebih singkat, sehingga konsumsi bahan bakar per satuan massa sampah dapat ditekan. Oleh karena itu, evaluasi terhadap rasio konsumsi energi dan jumlah sampah yang diolah menjadi penting dalam upaya meningkatkan efisiensi lingkungan dari sistem pengelolaan sampah organik (He *et al.*, 2026).

Kontribusi emisi yang relatif rendah dari mesin pencacah menunjukkan bahwa aktivitas mekanis bukan merupakan sumber utama emisi dalam sistem pengelolaan sampah organik. Berbagai penelitian menunjukkan bahwa sumber emisi terbesar umumnya berasal dari proses transportasi dan proses biologis selama pengomposan, terutama ketika kondisi aerasi, kelembapan, dan suhu tidak terkontrol dengan baik (Nordahl *et al.*, 2023; Fredenslund *et al.*, 2026). Dengan demikian, strategi pengurangan emisi GRK sebaiknya diprioritaskan pada optimalisasi proses pengomposan dan efisiensi sistem pengangkutan sampah.

Di sisi lain, penggunaan mesin pencacah tetap memberikan manfaat lingkungan secara tidak langsung. Proses pencacahan mampu memperkecil ukuran partikel bahan organik sehingga memperluas luas permukaan kontak mikroorganisme selama proses dekomposisi. Kondisi ini dapat mempercepat laju pengomposan, meningkatkan homogenitas bahan, serta membantu menjaga kondisi aerobik yang berpotensi mengurangi pembentukan gas metana (CH₄) selama proses pengolahan (Awasthi *et al.*, 2023). Oleh karena itu, meskipun menghasilkan emisi dari penggunaan bahan bakar, keberadaan mesin pencacah dapat memberikan manfaat bersih (*net environmental benefit*) apabila mampu meningkatkan efisiensi proses pengomposan secara keseluruhan.

Penerapan teknologi rendah karbon juga dapat menjadi alternatif untuk menekan emisi dari penggunaan mesin pencacah di masa mendatang. Penggunaan mesin berbasis listrik yang memanfaatkan sumber energi terbarukan berpotensi menurunkan emisi dari sektor energi dibandingkan mesin berbahan bakar fosil.

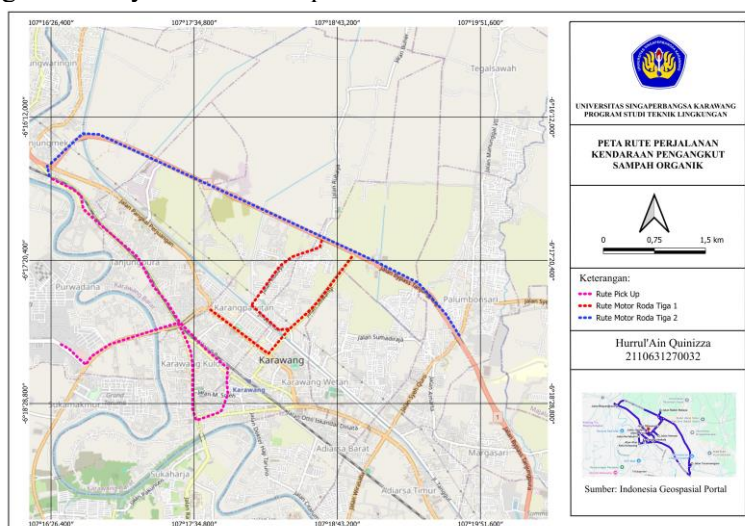
Menurut *International Energy Agency* (2024), elektrifikasi peralatan operasional merupakan salah satu strategi penting dalam mencapai target dekarbonisasi sektor pengelolaan limbah dan ekonomi sirkular. Selain itu, pengembangan sistem pemeliharaan berkala pada mesin pencacah dapat meningkatkan efisiensi pembakaran bahan bakar sehingga konsumsi energi dan emisi yang dihasilkan dapat diminimalkan.

Berdasarkan hasil penelitian ini, kontribusi emisi dari mesin pencacah masih tergolong rendah dibandingkan sumber emisi lainnya dalam sistem pengelolaan sampah organik. Namun demikian, peningkatan skala pengelolaan sampah di masa mendatang perlu diiringi dengan penerapan teknologi yang lebih efisien dan ramah lingkungan agar emisi dari sektor energi tetap terkendali. Pendekatan tersebut sejalan dengan konsep pengelolaan sampah berkelanjutan yang tidak hanya berorientasi pada

pengurangan timbulan sampah, tetapi juga pada upaya mitigasi perubahan iklim melalui pengurangan emisi GRK pada seluruh tahapan pengelolaan sampah (Pérez et al., 2023; UNEP, 2024).

Emisi Gas Rumah Kaca pada Kendaraan Pengangkut Sampah

Aktivitas pengangkutan sampah di HKK melibatkan dua jenis kendaraan, yaitu motor roda tiga dan kendaraan *pick up*, dengan rute dan konsumsi bahan bakar yang berbeda. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa emisi GRK dari kendaraan pengangkut sampah merupakan kontribusi terbesar dalam sistem pengelolaan sampah organik. Total emisi GRK dari aktivitas pengangkutan sampah tercatat sebesar 15.418,20 CO₂-eq/tahun, yang didominasi oleh kendaraan *pick up*. Rute kendaraan pengangkut sampah disajikan pada **Gambar 2**.



Gambar 2. Peta Rute Perjalanan Kendaraan Pengangkut Sampah Organik

Tingginya emisi GRK dari kendaraan pengangkut sampah terutama disebabkan oleh panjang rute perjalanan dan tingginya konsumsi bahan bakar, khususnya pada kendaraan *pick up* yang melayani wilayah pengangkutan yang lebih luas. Kendaraan ini mengonsumsi bahan bakar RON 92 sebesar 30 L per minggu, lebih tinggi dibandingkan motor roda tiga yang mengonsumsi 24 L per minggu. Kondisi ini menunjukkan bahwa sektor transportasi memiliki peran dominan dalam total emisi GRK pengelolaan sampah organik, meskipun secara kuantitas sampah yang diangkut relatif tidak sebesar sistem pengelolaan skala kota.

Secara teoritis, emisi dari sektor

transportasi merupakan salah satu penyumbang utama emisi CO₂ dalam sistem pengelolaan sampah perkotaan akibat ketergantungan pada bahan bakar fosil (IPCC, 2019). Hasil penelitian ini sejalan dengan temuan Hidayati (2023) yang menunjukkan bahwa variasi jenis kendaraan, konsumsi bahan bakar, serta panjang rute pengangkutan sangat memengaruhi besaran emisi GRK yang dihasilkan. Namun, nilai emisi yang diperoleh dalam penelitian ini relatif lebih tinggi, yang mengindikasikan bahwa sistem pengangkutan sampah di HKK masih memiliki potensi besar untuk dilakukan optimalisasi. Implikasi praktis dari hasil ini adalah perlunya strategi mitigasi emisi melalui pengaturan rute

yang lebih efisien, pengurangan jarak tempuh, serta peningkatan efisiensi kendaraan pengangkut sampah. Dengan kontribusi emisi sebesar 15.418,20 CO₂-eq/tahun, aktivitas pengangkutan sampah merupakan sumber emisi GRK terbesar dalam pengelolaan sampah organik di Hutan Kota Karawang, sehingga sektor transportasi menjadi prioritas utama dalam upaya pengurangan emisi GRK di tingkat kawasan.

Jumlah sampah organik yang dapat dimanfaatkan menjadi kompos

Jumlah sampah organik berupa daun dan ranting yang dapat dimanfaatkan menjadi kompos di HKK mencapai 205.732,25 per tahun. Proses pengomposan terhadap timbunan sampah tersebut menghasilkan emisi GRK sebesar 3,34 CO₂-eq per tahun, yang merupakan nilai terendah dibandingkan aktivitas pengelolaan sampah lainnya. Temuan ini menunjukkan bahwa pengomposan skala lokal berkontribusi sangat kecil terhadap total emisi GRK sistem pengelolaan sampah organik.

Rendahnya emisi GRK dari proses pengomposan disebabkan oleh kondisi pengomposan yang berlangsung secara aerobik, sehingga potensi pembentukan CH₄ dapat ditekan secara signifikan. Selain itu, karakteristik bahan organik yang didominasi oleh daun dan ranting menyebabkan laju dekomposisi berlangsung lebih lambat dibandingkan limbah organik basah, sehingga emisi GRK yang dihasilkan relatif kecil. Hasil ini menegaskan bahwa pengomposan sampah organik berbasis vegetasi merupakan metode pengelolaan yang ramah lingkungan pada skala kawasan.

Pengomposan aerobik menghasilkan emisi GRK yang lebih rendah dibandingkan pengelolaan limbah organik secara anaerob di TPA (IPCC, 2019). Hasil penelitian ini sejalan dengan temuan Adhikari *et al.*, (2021) yang menyatakan bahwa pengomposan skala komunitas mampu menurunkan emisi metana sebesar 0,04 ton CO₂-eq per ton limbah organik. Perbedaan besaran emisi yang dihasilkan dapat dipengaruhi oleh jenis bahan organik, di mana limbah daun dan ranting yang kaya lignin cenderung menghasilkan emisi lebih rendah dibandingkan limbah organik basah. Implikasi dari temuan ini adalah bahwa pengomposan sampah organik di kawasan ruang terbuka hijau dapat menjadi strategi mitigasi emisi GRK yang efektif, meskipun kontribusinya terhadap total emisi pada skala kabupaten relatif kecil.

Pengomposan sampah daun dan ranting di HKK menghasilkan emisi GRK yang sangat rendah dibandingkan aktivitas pendukung lainnya, sehingga berpotensi menjadi praktik pengelolaan sampah organik yang berkelanjutan pada skala kawasan.

Ketidakpastian dan Keterbatasan Estimasi Emisi

Estimasi emisi GRK dalam penelitian ini menggunakan pendekatan Tier-1 IPCC yang mengandalkan faktor emisi default, sehingga memiliki tingkat ketidakpastian yang relatif tinggi. Ketidakpastian utama berasal dari variasi konsumsi bahan bakar kendaraan dan mesin, perbedaan efisiensi operasional peralatan, serta karakteristik bahan organik yang dikomposkan. Kondisi ini dapat memengaruhi besaran emisi yang dihitung, khususnya pada aktivitas pendukung seperti pengangkutan sampah dan penggunaan mesin pencacah, yang dalam hasil penelitian menunjukkan kontribusi emisi terbesar dibandingkan proses pengomposan.

Meskipun demikian, penggunaan pendekatan Tier-1 dinilai masih relevan untuk tujuan penelitian ini, yaitu mengidentifikasi sumber emisi dominan dalam sistem pengelolaan sampah organik di HKK. Hasil estimasi mampu memberikan gambaran awal bahwa sektor energi, terutama aktivitas transportasi, memiliki kontribusi emisi yang lebih signifikan dibandingkan sektor limbah. Informasi ini penting sebagai dasar perumusan strategi mitigasi emisi pada tahap perencanaan awal pengelolaan sampah berbasis kawasan.

Ketidakpastian dalam estimasi emisi GRK merupakan tantangan yang umum dijumpai dalam studi berbasis pendekatan Tier-1 IPCC, terutama ketika data aktivitas bersifat agregat dan faktor emisi yang digunakan tidak mencerminkan kondisi lokal secara spesifik. Winiwarter *et al.*, (2023) menyatakan bahwa penggunaan faktor emisi default pada tingkat nasional maupun sub-nasional dapat menghasilkan deviasi estimasi hingga 30-50% dibandingkan dengan pengukuran langsung berbasis inventarisasi lokal. Oleh karena itu, hasil estimasi dalam penelitian ini perlu dipahami sebagai pendekatan awal yang bersifat indikatif, bukan sebagai nilai absolut yang definitif.

Dalam konteks pengelolaan sampah organik perkotaan, variasi timbunan sampah dan pola operasional kendaraan pengangkut memiliki pengaruh yang signifikan terhadap total emisi sektor energi. Penelitian yang dilakukan oleh

Osei-Mensah *et al.*, (2024) di kawasan perkotaan Afrika Barat menunjukkan bahwa emisi dari kendaraan pengangkut sampah dapat mencapai 40-60% dari total emisi operasional sistem pengelolaan sampah, sejalan dengan temuan dalam penelitian ini yang menempatkan aktivitas transportasi sebagai sumber emisi dominan. Hal ini menegaskan bahwa efisiensi armada kendaraan dan optimalisasi rute pengangkutan merupakan titik intervensi mitigasi yang paling berpengaruh.

Berkenaan dengan proses pengomposan itu sendiri, emisi metana (CH₄) dan dinitrogen oksida (N₂O) dari tumpukan kompos organik sangat dipengaruhi oleh kondisi aerasi, kadar air, dan rasio karbon terhadap nitrogen (C/N) bahan baku. Nguyen *et al.*, (2022) dalam kajian mereka tentang sistem pengomposan berskala komunitas di Asia Tenggara menemukan bahwa manajemen aerasi yang buruk dapat meningkatkan emisi CH₄ hingga tiga kali lipat dibandingkan sistem aerasi terkontrol. Kondisi ini mengindikasikan bahwa peningkatan kualitas pengelolaan proses pengomposan, misalnya melalui pengaturan frekuensi pembalikan tumpukan dan pemantauan kadar air, dapat secara signifikan menurunkan emisi GRK dari sektor limbah.

Variasi musiman yang belum dipertimbangkan dalam penelitian ini merupakan faktor penting yang perlu diakomodasi dalam penelitian lanjutan. Di wilayah tropis seperti Kabupaten Karawang, curah hujan musiman berdampak langsung terhadap komposisi dan kadar air sampah organik, yang pada gilirannya memengaruhi laju dekomposisi dan profil emisi. Wiedner & Schaldach (2023) menggarisbawahi bahwa integrasi variasi iklim musiman ke dalam model inventarisasi emisi GRK di negara-negara tropis mampu meningkatkan akurasi estimasi hingga 20-25% dibandingkan asumsi rata-rata tahunan. Dengan demikian, pengembangan model berbasis data musiman menjadi langkah strategis untuk meningkatkan keandalan estimasi emisi di masa mendatang.

Penerapan pendekatan Tier-2 atau Tier-3 sebagaimana disarankan dalam penelitian ini sejalan dengan tren global dalam peningkatan kualitas inventarisasi GRK di tingkat lokal. Puig Ventosa *et al.*, (2025) mengemukakan bahwa transisi dari Tier-1 ke Tier-2 dalam inventarisasi emisi pengelolaan sampah memerlukan data spesifik lokal mencakup komposisi kimia bahan organik, efisiensi mesin, dan pola operasional harian. Meskipun membutuhkan sumber daya pengumpulan data yang lebih besar, pendekatan

ini memberikan dasar ilmiah yang lebih kuat bagi pengambil kebijakan dalam merancang program mitigasi emisi yang tepat sasaran di tingkat kawasan.

Dari perspektif strategi mitigasi, hasil penelitian ini memberikan landasan awal bagi pengelola HKK untuk memprioritaskan efisiensi operasional kendaraan dan peralatan mekanis sebelum berinvestasi pada teknologi pengomposan yang lebih canggih. Pendekatan ini konsisten dengan kerangka hierarki mitigasi yang dikemukakan oleh Chen *et al.*, (2024), yang menyatakan bahwa reduksi emisi dari sumber langsung energi fosil dalam sistem pengelolaan limbah padat perkotaan umumnya memberikan co-benefit lingkungan yang lebih luas dibandingkan intervensi pada proses biologis. Ke depan, integrasi data inventarisasi emisi yang lebih akurat ke dalam sistem informasi pengelolaan kawasan hijau kota akan mendukung perencanaan berbasis bukti (*evidence-based planning*) yang lebih responsif terhadap target netralitas karbon nasional.

Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian, pengelolaan sampah organik berupa daun dan ranting di HKK menghasilkan emisi GRK yang relatif rendah. Dari total timbulan sampah organik sebesar 205.732,25 kg per tahun, emisi yang dihasilkan dari proses pengomposan diperkirakan sebesar 3,34 CO₂-eq per tahun. Sebaliknya, aktivitas pendukung pada sektor energi, khususnya transportasi pengangkutan sampah, memberikan kontribusi emisi tertinggi dengan total emisi sebesar 15.418,20 CO₂-eq per tahun. Hasil ini menunjukkan bahwa dalam sistem pengelolaan sampah organik berbasis kawasan perkotaan, sumber emisi GRK tidak hanya berasal dari proses pengolahan limbah, tetapi justru didominasi oleh aktivitas pendukung, terutama transportasi. Oleh karena itu, strategi pengurangan emisi GRK perlu difokuskan pada pengoptimalan sistem pengangkutan, pengurangan frekuensi perjalanan, serta penggunaan kendaraan dan peralatan dengan efisiensi bahan bakar yang lebih baik dan emisi lebih rendah. Temuan ini diharapkan dapat menjadi dasar awal bagi pemerintah daerah dalam merancang kebijakan pengelolaan sampah organik yang lebih berkelanjutan dan berorientasi pada mitigasi emisi GRK.

Ucapan Terima Kasih

Ucapan terima kasih kepada dosen pembimbing atas bimbingan dan masukan yang diberikan selama penelitian dan penyusunan laporan. Ucapan terima kasih juga disampaikan kepada Dinas Lingkungan Hidup Kabupaten Karawang yang telah memberikan dukungan data, akses lokasi, serta fasilitas pendukung penelitian.

Referensi

- Adhikari, S., Barrington, S., Martinez, J., & King, S. (2021). Greenhouse gas emissions from composting of organic waste: a review of influencing factors and mitigation strategies. *Waste Management*, 120, 123–138. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2020.11.038>
- Anifah, E. M., Rini, I. D. W. S., Hidayat, R., & Ridho, M. (2021). Estimasi emisi gas rumah kaca (GRK) kegiatan pengelolaan sampah di kelurahan karang joang, balikpapan. *Jurnal Sains & Teknologi Lingkungan*, 13(1), 17–33. <https://doi.org/10.20885/jstl.vol13.iss1.art2>
- Awasthi, M. K., Sarsaiya, S., Wainaina, S., Rajendran, K., Kumar, S., & Awasthi, S. K. (2023). Advances in organic waste composting and greenhouse gas mitigation: A review. *Bioresource Technology*, 369, 128353. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2022.12.8353>
- Chen, L., Wang, J., & Liu, H. (2024). Mitigation hierarchy for greenhouse gas emissions in municipal solid waste management: A systematic review of co-benefits and trade-offs. *Resources, Conservation and Recycling*, 198, 107145. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2023.107145>
- Fredenslund, A. M., Klotz, L. A., Edjabou, M. E., & Scheutz, C. (2026). Methane and nitrous oxide emission factors from full-scale garden waste composting facilities. *Waste Management & Research*. <https://doi.org/10.1177/0734242X261424609>
- Hao Wang, J. W. (2020). Degradation of pollutants in polluted river water using Ti/IrO₂-Ta₂O₅ coating electrode and evaluation of electrode characteristics. *Journal of Cleaner Production*. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.123019>
- He, J., Tang, J., He, Z., Fu, Q., Li, Y., Song, C., Huang, W., Wang, J., Yu, J., & Tang, L. (2026). Multi-model machine learning framework for prediction of greenhouse gas emissions during composting of organic solid waste. *Bioresource Technology*, 443, 133901. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2025.133901>
- Hidayati, Z. P. (2023). Studi emisi gas rumah kaca (GRK) pada aktivitas operasional bank sampah di kabupaten sleman, yogyakarta. 80
- Intergovernmental Panel on Climate Change. (2006). IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories: *volume 2-energy*. Institute For Global Environmental Strategies (IGES)
- Intergovernmental Panel on Climate Change. (2006). IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories: *Volume 5-Waste*. Institute For Global Environmental Strategies (IGES)
- Intergovernmental Panel on Climate Change. (2019). *refinement to the 2006 IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories: volume 2-energy*. Institute For Global Environmental Strategies (IGES)
- Nguyen, T. H., Pham, V. L., & Tran, T. K. (2022). Effect of aeration management on greenhouse gas emissions from community-scale composting in Southeast Asia. *Bioresource Technology*, 345, 126482. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2021.12.6482>
- Nordahl, S. L., Preble, C. V., Kirchstetter, T. W., & Scown, C. D. (2023). Greenhouse gas and air pollutant emissions from composting. *Environmental science & technology*, 57(6), 2235–2247. <https://doi.org/10.1021/acs.est.2c05846>
- Osei-Mensah, K., Acheampong, E., & Asante, F. A. (2024). Vehicle fleet emissions in municipal solid waste collection: Evidence from urban West Africa. *Waste Management*, 178, 45–57. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2024.01.022>
- Pérez, T., Vergara, S. E., & Silver, W. L. (2023). Assessing the climate change mitigation

- potential from food waste composting. *Scientific reports*, 13, 7608. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-34174-z>
- Puig Ventosa, I., Sastre, S., & Freire-González, J. (2025). Transitioning from Tier-1 to Tier-2 in local GHG inventories for organic waste management: Data requirements and policy implications. *Journal of Cleaner Production*, 440, 141082. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2024.141082>
- Raharjo, S., Marganingrum, D., & Nurdiani, R. (2023). Analisis emisi gas rumah kaca dari sistem pengelolaan sampah padat perkotaan di Indonesia: Studi kasus Kota Bandung. *Jurnal Teknik Lingkungan*, 29(1), 12–24. <https://doi.org/10.5614/jtl.2023.29.1.02>
- Sistem Informasi Pengelolaan Sampah Nasional. (2024). Data timbulan sampah Kabupaten Karawang tahun 2024. Kementerian lingkungan hidup dan kehutanan republik indonesia. <https://sipsn.menlhk.go.id>
- Sitogasa, P. S. A. (2022). Penerapan solid waste management tool (swmt) sebagai analisis gas rumah kaca hasil penanganan sampah di kota kediri. *Jurnal environmental science*, 2 (2), 7-15
- Syafrudin, S., Budihardjo, M. A., & Wahyuningrum, I. F. (2022). Greenhouse gas emission inventory from organic waste composting facilities in Indonesian urban green areas. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1098, 012045. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1098/1/012045>
- Standar Nasional Indonesia. (2025). SNI 3964:2025 metode pengambilan dan pengukuran contoh timbulan dan komposisi sampah rumah tangga dan sampah sejenis sampah rumah tangga. *Badan Standardisasi Nasional*
- United Nations Environment Programme. (2024). *Global waste management outlook 2024*. United Nations Environment Programme. <https://www.unep.org>
- Wang, Y., Zhang, X., Li, J., & Chen, H. (2022). Greenhouse gas emissions and mitigation strategies during organic waste composting: A review. *Science of the Total Environment*, 806, 150553. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.150553>
- Waste4change, (2021). Menuju pengelolaan sampah cerdas: mendorong digitalisasi tata kelola persampahan indonesia
- Wiedner, K., & Schaldach, R. (2023). Incorporating seasonal climate variability into greenhouse gas emission models for tropical solid waste management. *Environmental Science & Technology*, 57(8), 3312–3321. <https://doi.org/10.1021/acs.est.2c07441>
- Winiwarter, W., Klimont, Z., & Schoepp, W. (2023). Uncertainty assessment in national greenhouse gas inventories: Implications for Tier-1 versus higher-tier approaches. *Atmospheric Environment*, 298, 119601. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2023.119601>
- Yu Qian Ang, Z. M.-D. (2022). UBEM.io: A web-based framework to rapidly generate urban building energy models for carbon reduction technology pathways. *Sustainable Cities and Society*. doi:<https://doi.org/10.1016/j.scs.2021.103534>
- Zhang, L., Li, X., Sun, Y., & Wang, Q. (2025). Energy consumption and carbon emission assessment of organic waste treatment systems: Implications for sustainable waste management. *Journal of Cleaner Production*, 468, 143002. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2024.143002>