

Analisis Emisi Gas Rumah Kaca (GRK) pada Pengelolaan Sampah Organik (Studi Kasus: ITF Kota Hijau Balikpapan)

Nia Febrianti¹⁾ Dwi Arief Prambudi²⁾ Ris Dinda Anggraeny¹⁾

¹⁾ Jurusan Ilmu Kebumihan dan Lingkungan, Institut Teknologi Kalimantan, Balikpapan, Indonesia

²⁾ Jurusan Matematika dan Teknologi Informasi, Institut Teknologi Kalimantan, Balikpapan, Indonesia

E-mail : niafebrianti@lecturer.itk.ac.id

Abstrak

Program Pengelolaan Sampah 3R Berbasis Masyarakat telah diterapkan di Kota Balikpapan, yakni terdapat di lokasi ITF (Intermediate Transfer Facilities) Kota Hijau Balikpapan. ITF Kota Hijau berperan dalam mengolah sampah organik sebanyak 0,65 ton/hari dengan persentase 0,14% dan lebih dari 73% lainnya dari fasilitas material recovery facilities (MRF), komposting oleh kawasan publik, dan tempat pemrosesan akhir (TPA). Namun dalam penerapannya kegiatan pengolahan persampahan ini menghadapi tantangan lain yakni, meningkatnya emisi gas rumah kaca. Sektor pengelolaan limbah padat merupakan salah satu penghasil gas rumah kaca berupa CH₄ dan CO₂. Sehingga diperlukan analisis mengenai gas rumah kaca selama pengelolaan sampah dilakukan. Analisis ini dilakukan untuk mengetahui banyaknya emisi gas rumah kaca yang dihasilkan selama sektor pengelolaan sampah berlangsung. Beberapa analisis yang dilakukan dalam penelitian ini di antaranya analisis jumlah sampah yang dikelola, menentukan skenario perhitungan emisi grk, dan menganalisis hasil emisi grk yang didapat. Analisis ini menggunakan metode berdasarkan Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) 2019. Karena belum adanya data faktor emisi di ITF maka dalam perhitungan emisi gas rumah kaca digunakan metode Tier 1 dengan data aktivitas dan faktor emisi angka default.

Kata kunci: Emisi Gas Rumah Kaca, Organik, Pengelolaan Sampah

Abstract

The Community-Based 3R Waste Management Program has been implemented in the City of Balikpapan, located at the ITF (Intermediate Transfer Facilities) location of the Green City of Balikpapan. Green City ITF plays a role in processing organic waste of as much as 0.65 tons/day with a percentage of 0,14% and more than 73% from material recovery facilities (MRF) facilities, composting by public areas, and final processing site (TPA). However, in its implementation, this waste management activity faces another challenge, increasing greenhouse gas emissions. The solid waste management sector is one of the producers of greenhouse gases (GHG) in the form of CH₄ and CO₂. So it is necessary to analyze the greenhouse gases emission during the waste management. The study was conducted to determine the amount of greenhouse gas emissions produced during the waste management sector. Some of the analyses carried out in this study include analyzing the amount of waste managed, determining the scenario for calculating GHG emissions, and analyzing the results of GHG emissions obtained. This analysis uses a method based on the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) 2019. Due to the absence of emission factor data at the ITF, the Tier 1 method was used to calculate the greenhouse gas emissions with activity data and default emission factor.

Keywords: Greenhouse Gas Emissions, Organic, Waste Management

1. PENDAHULUAN

Pengelolaan sampah saat ini telah menjadi isu global dan menarik. Berdasarkan data dalam panduan Komponen Program Percontohan Pengelolaan Sampah Kota Balikpapan (2018), sebanyak 52,4% timbulan sampah Kota Balikpapan merupakan sampah organik. Pemerintah Kota Balikpapan dalam mencermati permasalahan lingkungan yang terjadi di lingkup wilayah administratifnya aktif mengimplementasikan program Pengelolaan Sampah *Reduce, Reuse, Recycle* (3R) Berbasis Masyarakat. Program ini merupakan hasil karya kerja sama dengan Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat sebagai inovasi untuk memperbaiki sistem dan turut mendukung pengelolaan sampah berkelanjutan di Indonesia. ITF (*Intermediate Transfer Facilities*) Kota Hijau Balikpapan merupakan lokasi diterapkannya salah satu rangkaian program Pengelolaan Sampah 3R Berbasis Masyarakat. Sejak penerapan program tersebut, sejauh ini mampu memberikan kontribusi positif terhadap reduksi permasalahan sampah dan menjadi salah satu kota yang memiliki fasilitas pengelolaan sampah terpadu sebagai percontohan untuk kota-kota lain di Indonesia. ITF Kota Hijau sendiri spesifik untuk mengelola sampah organik agar dimanfaatkan sebagai kompos. ITF sendiri mampu mengolah sampah organik sebanyak 0,65 ton/hari dengan persentase 0,14% dan lebih dari 73% lainnya dari fasilitas MRF (*Material Recovery Facility*), komposting oleh kawasan publik, dan TPA (Tempat Pemrosesan Akhir). Namun dalam penerapannya kegiatan pengolahan persampahan ini menghadapi tantangan lain yakni, meningkatnya emisi gas rumah kaca. Sektor pengelolaan limbah padat merupakan salah satu penghasil gas rumah kaca berupa CH₄ dan CO₂.

Pada kondisi anaerobik, sampah organik akan menghasilkan gas metana. Gas metana pada sektor pengelolaan sampah memiliki nilai *Global Warming Potential* (GWP) sebesar 34 kali lebih besar daripada gas karbondioksida (Myhre, 2013). Selain dari aktivitas industri minyak dan gas serta pertanian, tempat kegiatan pemrosesan akhir memiliki kontribusi besar terhadap meningkatnya gas rumah kaca. Sektor pengelolaan limbah padat menyumbang setidaknya 4% dari emisi gas rumah kaca lainnya dan semakin meningkat seiring bertambahnya waktu dan jumlah sampah yang dihasilkan. Di samping itu, gas CO₂ turut berkontribusi dalam peningkatan emisi gas rumah kaca. Umumnya gas CO₂ berasal dari hasil

pembakaran bahan bakar fosil atau bahan bakar kendaraan. Dalam tahap pengangkutan sampah di Kota Balikpapan sendiri menggunakan kendaraan truk dan mobil *pick up* berbahan bakar fosil sebagai sarana pengangkut. ITF pun memanfaatkan fasilitas kendaraan truk untuk mengangkut sampah organik dari sumber yang selanjutnya akan dikelola lebih lanjut. Maka, diperlukan analisis mengenai emisi gas rumah kaca dari tahap pengumpulan sampah hingga pengelolaan menjadi kompos di ITF Kota Hijau Balikpapan.

2. METODE PENELITIAN

Studi literatur mengawali proses jalannya penelitian ini di mana bertujuan agar memperoleh informasi yang selanjutnya dijadikan dasar untuk menganalisis terkait proses pengelolaan sampah serta kontribusi emisi gas rumah kaca yang dihasilkan selama proses pengomposan limbah organik berlangsung. Kemudian survey lapangan dilakukan dengan mengobservasi kegiatan pengomposan dimulai dari proses pemilahan sampah hingga menjadi kompos. Observasi bertujuan untuk meninjau dan mengamati setiap proses pengomposan yang dilakukan.

Data primer diperoleh dengan melakukan kegiatan diskusi dan tanya-jawab terkait langkah-langkah pengolahan sampah organik menjadi kompos serta fasilitas pendukung yang berada di ITF bersama petugas lapangan yang bersangkutan. Sedangkan data sekunder diperoleh dari sumber lain yakni, mendapat data jumlah sampah organik dari tahun 2018–2021 (tercatat hingga bulan Juli 2021) yang diolah dan dicatat oleh pihak administrasi ITF.

Data yang telah didapat kemudian dilakukan analisis emisi gas rumah kaca pada ITF Kota Hijau Balikpapan dengan menggunakan metode IPCC 2019. Menurut Pedoman Teknis Perhitungan *Baseline* Emisi Gas Rumah Kaca Sektor Pengelolaan Limbah Republik Indonesia (2014) untuk menghitung emisi dari tempat pembuangan limbah padat dilakukan dengan metode tier-1. Tier-1 dipilih dikarenakan karena belum tersedianya data faktor emisi spesifik di ITF Kota Hijau Balikpapan.

Perhitungan untuk sektor pengolahan sampah dengan menggunakan persamaan (1), (IPCC, 2019).

$$\text{Emisi CH}_4/\text{N}_2\text{O} = (M_i \times \text{EF}_i) \times 10^{-3} - R \quad (1)$$

Dimana :

Emisi = Total gas CH₄ / N₂O yang dihasilkan pada proses pengomposan

M_i = Jumlah sampah yang dikomposkan (Gg)

EF_i = Faktor emisi CH₄ / N₂O (kg CH₄/Gg sampah)

R = Total emisi yang *terrecovery* (Gg)

Emisi CO₂, CH₄, dan N₂O dari kegiatan pengangkutan dihitung dengan persamaan (2), (IPCC, 2019).

$$\text{Emisi (Gg)} = \sum(\text{Fuel}_a \times \text{EF}_a) \quad (2)$$

Dimana :

Emisi = Total gas CH₄ / N₂O berasal dari pembakaran bahan bakar

Fuel_a = bahan bakar yang dikonsumsi (TJ)

EF_a = Faktor emisi (Kg/TJ) untuk masing-masing CO₂, CH₄, dan N₂O

Gas metana CH₄ dari hasil proses penimbunan dihitung berdasarkan jumlah sampah yang dibuang ataupun ditimbun di tempat pembuangan akhir. Perhitungan emisi gas metana CH₄ yang dihasilkan dari proses penimbunan dapat diperkirakan dengan menggunakan persamaan (3) dan (4) (IPCC, 2019).

$$L_o = \text{DDOC}_m \times F \times \frac{16}{12} \quad (3)$$

Dimana :

L_o = Potensi gas CH₄ yang dihasilkan (Gg CH₄)

DDOC_m = Massa karbon organik yang terdekomposisi (Kg)

F = Fraksi gas CH₄ dari gas landfill yang dihasilkan

16/12 = rasio berat molekul CH₄/C

$$\text{DDOC}_m = W \times \text{DOC} \times \text{DOC}_f \times \text{MCF} \quad (4)$$

Dimana :

DDOC_m = Massa karbon organik yang terdekomposisi (Kg)

W = Massa sampah basah yang dibuang (Kg)

DOC = Fraksi karbon organik yang terdegradasi (GG C/Gg sampah)

DOC_f = Fraksi karbon organik yang terdekomposisi

MCF = Faktor koreksi CH₄ pada dekomposisi aerobic

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Pengolahan Sampah Organik di ITF Kota Hijau Balikpapan

Kementerian PUPR telah membangun fasilitas pengelolaan sampah yakni Tempat Pengolahan Sampah Terpadu (TPST) atau ITF berbasis 3R di tiga kota Indonesia salah satunya adalah Kota Balikpapan. Pembangunan ini dirancang untuk menjalankan dan merubah sistem konvensional sampah menjadi lebih efisien, bersih, dan konsisten dengan konsep 3R serta dijadikan program percontohan untuk kota lainnya (Karliansah, 2018).

Sampah organik yang dikelola pada ITF Kota Hijau berasal dari Pasar Pandan Sari. Pada awal beroperasi yakni pada tahun 2018, bahan baku pembuatan kompos berasal dari dua sumber yaitu Pasar Sepinggian dan Pasar Pandan Sari. Namun dalam praktiknya, sampah organik Pasar Sepinggian mengandung banyak batok kelapa yang mana limbah batok kelapa kurang ideal untuk dijadikan sebagai bahan baku pembuat kompos. Beberapa kali juga ditemukan bahwa limbah Pasar Sepinggian telah tercampur dengan limbah rumah tangga jadi sehingga dibutuhkan waktu yang sedikit lama dalam proses pemilahan dan pengomposannya. Oleh karena itu, pasokan limbah organik dari pasar Sepinggian diberhentikan per bulan Maret tahun 2020 dan hanya menerima dari Pasar Pandan Sari. Berdasarkan hasil kajian dari petugas ITF, limbah dari Pasar Pandan Sari sangat ideal dijadikan bahan baku kompos karena 70% merupakan limbah organik dan 30% sisanya adalah limbah anorganik. Limbah organik tersebut terdiri dari limbah sayuran, buah-buahan maupun daun kering atau yang sudah mulai layu dan lain sebagainya.

ITF Kota Hijau terletak cukup jauh dari pemukiman warga untuk menghindari aroma tidak sedap selama pengolahan sampah berlangsung. Waktu operasional ITF dimulai dari jam 8 pagi dan Truk sampah pengangkut (jenis *arm roll truck*) yang berkapasitas 14 m³ dari Pasar Pandan Sari mulai mendistribusikan sampahnya ke ITF dan melakukan hanya satu kali ritasi. Mula-mula sampah melewati *screening* kasar untuk mulai dipilah secara primer. Dilengkapi sarana pemilahan dengan 2 buah *belt conveyor* yang aktif berfungsi untuk membantu memindahkan sampah

organik yang telah melewati *screening*. Dilakukan pemilahan sampah organik dan anorganik kemudian melalui unit pencacahan untuk memperkecil ukuran sampah organik agar mudah terurai saat proses dekomposisi. Untuk sampah organik yang tidak digunakan akan dikumpulkan ke dalam wadah yang disebut *bucket* berkapasitas 600 Kg yang terbuat dari bahan plastik tebal. Sampah yang telah dipilah dan dicacah akan disimpan selama dua hari di dalam sekat khusus penyimpanan kemudian akan disiram air lindi setiap 15 menit dua kali dalam satu hari. Kemudian dilakukan penghamparan/proses penjemuran paling lama 25 hari setelah penyimpanan dan dilakukan pembalikan sampah organik yang terdekomposisi. Dalam proses dekomposisi sampah organik mengalami perubahan bentuk, warna, dan massa. Jika, sampah organik yang dijemur tidak menghasilkan air lagi dan warna sampah berubah menjadi cokelat gelap maka dapat dikatakan proses dekomposisi tersebut berhasil dan menjadi kompos yang siap digunakan.

Sebelum masa pandemi Covid-19, ITF mampu menerima sampah organik hingga dua truk. Namun, semenjak masa pandemi truk pengangkut hanya mengantar satu kali dalam satu hari. Kompos yang dihasilkan oleh ITF Kota Hijau Balikpapan dapat mencapai 500–600 Kg dalam satu kali pengomposan. Kompos yang diproduksi oleh ITF belum bisa dipasarkan secara bebas karena masih belum ada dasar hukum yang mengatur terkait kegiatan komersial produk kompos. Jadi, kompos tersebut akan dipergunakan untuk keperluan Dinas Lingkungan Hidup Kota Balikpapan bila mana dibutuhkan dan digunakan sebagai tambahan pupuk pada tanaman-tanaman kota yang dirawat. ITF memiliki beberapa kendala dari segi konstruksi bangunan dimulai dari tidak optimalnya saluran air lindi pada bagian zona *outlet* ke *bunker* penyimpanan dan area penghamparan kompos selama proses penjemuran yang kurang luas dan atap dibagian area penghamparan yang kurang transparan. Jadi, sinar matahari yang masuk sedikit minim dan memperlambat proses pengeringan kompos.

3.2. Analisis Emisi

Penentuan potensi kontribusi emisi gas rumah kaca pada proses pengolahan dilakukan dengan mengetahui data jumlah sampah organik yang diproduksi oleh ITF Kota Hijau Balikpapan. Data jumlah sampah diperlukan untuk menganalisis

dan menentukan metode yang tepat agar pengolahan sampah yang bijak tidak menimbulkan dampak baru seperti menghasilkan emisi gas rumah kaca yang tinggi.

Data jumlah sampah organik yang diolah tahun 2018 oleh ITF Kota Hijau Balikpapan dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Jumlah Sampah Organik yang Diolah Tahun 2018

Tahun 2018	Sampah Organik	
	Total Produksi (kg/hari)	Rata-Rata Harian (kg/hari)
Januari	26.750	2.432
Februari	40.150	2.509
Maret	44.000	2.444
April	28.600	2.600
Mei	48.500	2.853
Juni	28.500	2.850
Juli	24.500	2.722
Agustus	13.000	2.583
September	14.000	2.800
Oktober	36.000	3.000
November	18.000	2.571
Desember	29.000	2.636
Total	351.000	32.000

Sumber : ITF Balikpapan, 2021

Data jumlah sampah organik yang diolah tahun 2019 oleh ITF Kota Hijau Balikpapan dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Jumlah Sampah Organik yang Diolah Tahun 2019

Tahun 2019	Sampah Organik	
	Total Produksi (kg/hari)	Rata-Rata Harian (kg/hari)
Januari	0	0
Februari	24.000	2.182
Maret	34.000	2.125
April	20.000	2.857
Mei	23.500	2.944
Juni	22.000	2.444
Juli	12.000	3.000
Agustus	38.500	2.750
September	35.000	2.917
Oktober	35.500	2.750
November	22.500	1.875
Desember	11.500	1.643

Tahun 2019	Sampah Organik	
	Total Produksi (kg/hari)	Rata-Rata Harian (kg/hari)
Total	278.500	27.487

Sumber : ITF Balikpapan, 2021

Data jumlah sampah organik yang diolah tahun 2020 oleh ITF Kota Hijau Balikpapan dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Jumlah Sampah Organik yang diolah Tahun 2020

Tahun 2020	Sampah Organik	
	Total Produksi (kg/hari)	Rata-Rata Harian (kg/hari)
Januari	16.500	2.063
Februari	12.500	2.083
Maret	22.000	1.958
April	21.500	1.654
Mei	0	0
Juni	20.000	1.538
Juli	21.500	1.536
Agustus	17.500	1.750
September	25.000	1.786
Oktober	11.500	1.917
November	13.500	1.875
Desember	24.000	1.714
Total	205.500	19.874

Sumber : ITF Balikpapan, 2021

Data jumlah sampah organik yang diolah tahun 2021 oleh ITF Kota Hijau Balikpapan dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Jumlah Sampah Organik yang Diolah Tahun 2021

Tahun 2021	Sampah Organik	
	Total Produksi (kg/hari)	Rata-Rata Harian (kg/hari)
Januari	12.600	2.100
Februari	21.100	2.344
Maret	33.600	2.800
April	21.700	2.450
Mei	12.600	2.100
Juni	21.700	2.170
Juli	9.100	2.275
Agustus	-	-
September	-	-

Tahun 2021	Sampah Organik	
	Total Produksi (kg/hari)	Rata-Rata Harian (kg/hari)
Oktober	-	-
November	-	-
Desember	-	-
Total	132.400	16.239

Sumber : ITF Balikpapan, 2021

Data jumlah sampah organik yang diolah oleh ITF Kota Hijau Balikpapan dari mulai beroperasi hingga data saat ini dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5. Rekapitulasi Jumlah Produksi Sampah Organik

Tahun	Sampah Organik	
	Total Produksi (kg/hari)	Rata-Rata Harian (kg/hari)
2018	351.000	32.000
2019	278.500	27.487
2020	205.500	19.874
2021	132.400	16.239
Rata-Rata Pengelolaan Sampah Organik	241.850	23.900

Berdasarkan Tabel 5, data lapangan yang diperoleh dan dilakukan rekapitulasi diketahui bahwa rata-rata sampah yang dikelola oleh ITF Kota Hijau sebesar 241.850 Kg dengan rata-rata harian 23.900 Kg/Hari atau $8,7 \times 10^6$ Kg/Tahun setara dengan 8.723,5 Ton/Tahun dalam kurun waktu 4 tahun berjalan. Setelah mengetahui data jumlah sampah yang dikelola maka dapat dilakukan analisis mengenai emisi gas rumah kaca.

Ditentukan skenario dalam analisis kontribusi emisi gas rumah kaca yang bertujuan sebagai gambaran untuk memudahkan dalam membandingkan emisi yang ditimbulkan pada kegiatan pengelolaan sampah. Skenario pertama dalam menganalisis jumlah emisi gas rumah kaca yang akan digunakan adalah semua sampah organik yang dihasilkan oleh Pasar Pandan Sari dikumpulkan dan ditimbun pada TPS setempat kemudian seluruh sampah yang dihasilkan diangkut dan dibawa ke TPA. Selama penimbunan sampah organik pada TPA ini akan terjadi proses anaerobik dan berpotensi menghasilkan gas metana (CH_4). Potensi CH_4 yang

dihasilkan dalam kurun waktu tertentu dapat diperkirakan berdasarkan jumlah sampah yang dibuang di tempat pemrosesan akhir.

Dasar perhitungannya adalah jumlah *Decomposable Degradable Organic Carbon* (DDOCm) sebagaimana didefinisikan pada persamaan (4). DDOCm merupakan bagian dari karbon organik yang akan terdegradasi dalam kondisi semi-aerobik di tempat pemrosesan akhir dan indeks m digunakan untuk massa. DDOCm sama dengan hasil kali jumlah sampah, fraksi karbon organik terdegradasi dalam sampah (DOC), fraksi karbon organik terdegradasi yang terurai dalam kondisi anaerobik (DOCf), dan bagian sampah yang akan terurai di bawah kondisi aerobik (sebelum kondisi menjadi anaerobik) di tempat pemrosesan akhir, yang diinterpretasikan dengan faktor koreksi metana (MCF). Nilai DOC *default* yang akan digunakan dalam analisis emisi gas rumah kaca untuk sampah organik adalah 0,15 dari berat sampah basah. Sedangkan, nilai DOCf *default* pada sampah organik adalah 0,7. Faktor koreksi metana (MCF) yang akan digunakan dalam untuk perhitungan emisi gas metana adalah 0,5 (IPCC, 2019). Pada Tabel 6 merupakan hasil perhitungan analisis emisi gas metana pada TPS Pandan Sari.

Tabel 6. Analisis Emisi GRK pada Kegiatan Penimbunan Sampah Organik pada TPA

Jenis Sampah	Jumlah Sampah (kg/thn)	DOC	DOCf	MCF	DDOCm (kg/thn)	F	CH4 (Kg/thn)
Organik	8.723.500	0,15	0,7	0,5	457.983,75	0,5	305.322,50

Nilai-nilai pada Tabel 6 dipengaruhi oleh komposisi sampah yakni sebagian besar adalah sampah organik yang memiliki lebih banyak potensi organik karbon yang terdekomposisi. Selain itu, kondisi iklim tropis turut mempengaruhi aktivitas bakteri dekomposisi dimana pada kelembapan tinggi fraksi dari organik karbon mudah terdegradasi dan pembentukan gas metana pun tinggi (Chaerul, Febrianto and Tomo, 2020).

Skenario kedua adalah pengangkutan sampah organik dari Pasar Pandan Sari ke ITF Kota Hijau dan dilakukan pengomposan setelah dari kegiatan pengangkutan.

Jarak tempuh yang diperoleh pada pengangkutan sejauh 12,1 Km/Hari atau 2904 Km/Tahun. Dalam satu kali ritasi dan hanya 1 unit truk jenis *arm roll* yang beroperasi ke ITF dalam 5 hari kerja dalam satu minggu (dari hari Senin hingga Jumat). Truk pengangkut tersebut menggunakan bahan bakar berupa solar dengan asumsi konsumsi bahan bakar rata-rata yang digunakan adalah 4,5 Km/Liter. Nilai kalor bahan bakar solar yang digunakan dalam perhitungan adalah 36×10^{-6} TJ/Liter (KLHK, 2011). Nilai *default* faktor emisi CO₂ dari hasil pembakaran sebesar 74.100 Kg/TJ, untuk faktor emisi CH₄ sebesar 3,9 Kg/TJ, dan faktor emisi N₂O sebesar 3,9 Kg/TJ (IPCC, 2019). Dari hasil perhitungan dengan menggunakan persamaan (2) didapatkan hasil seperti pada Tabel 7 berikut.

Tabel 7. Analisis Emisi GRK pada Kegiatan Pengangkutan Sampah Organik ke ITF

Sumber Sampah	Jarak Pengangkutan (km/thn)	Konsumsi Bahan Bakar (L/thn)	Konsumsi Energi (TJ)	Emisi CO ₂ (kg/thn)	Emisi CH ₄ (kg/thn)	Emisi N ₂ O (kg/thn)
Pasar Pandan Sari	2904	645,3	0,023	1721,49	0,09	0,09

Emisi CO₂ pada proses pengangkutan menggunakan transportasi bahan bakar solar memiliki nilai yang sangat besar. Karena pembakaran bahan bakar dari fosil menghasilkan beberapa gas emisi salah satunya didominasi oleh karbon dioksida (CO₂) (Anifah et al., 2021). Begitu pula pada emisi CH₄ dan N₂O namun tidak sebesar nilai pada emisi CO₂. Dari hasil analisis dalam kurun waktu satu tahun untuk sebuah truk pengangkut sampah yang aktif beroperasi dari Pasar Pandan Sari ke ITF setiap harinya dapat mengeluarkan emisi CO₂ sebesar 1721,49 Kg/Tahun, emisi CH₄ sebesar 0,09 Kg/Tahun, dan emisi N₂O sebesar 0,09 Kg/Tahun. Serta konsumsi bahan bakar sebesar 645,3 Liter/Tahun atau sebesar 2,7 Liter/Hari untuk satu unit truk pengangkut.

Pada ITF Kota Hijau dilakukan pengomposan secara semi-aerobik, dari proses tersebut tidak terlepas dari kontribusi emisi gas CH₄ dan N₂O. Massa sampah yang terkelola di ITF yakni sebesar 23.900 Kg/Hari atau sebesar $8,7 \times 10^6$ Kg/Tahun. Faktor emisi (EFa) diperoleh dari angka default IPCC 2019 *Guidelines* pada proses

pengomposan 4 g CH₄/Kg berat basah sampah untuk perhitungan emisi gas CH₄ dan 0,3 g N₂O/Kg berat basah sampah untuk perhitungan emisi gas N₂O. Jumlah gas CH₄ yang *ter-recovery* (R) bernilai 0 karena upaya pemanfaatan gas CH₄ pengomposan di ITF tidak dikelola. Perhitungan emisi CH₄ dari aktivitas pengomposan dapat dilihat pada Tabel 8 dengan menggunakan persamaan (1).

Tabel 8. Analisis Emisi GRK pada Kegiatan Pengomposan di ITF Kota Hijau Balikpapan

Jenis Sampah	Jumlah Sampah (kg/thn)	Faktor Emisi CH ₄ (gCH ₄ /kg)	Faktor Emisi N ₂ O (gN ₂ O/kg)	R	Emisi CH ₄ (kg/thn)	Emisi N ₂ O (kg/thn)
Organik	8.723.500	4	0,3	0	34.894	2.617,05

Dari kegiatan pengomposan dihasilkan emisi CH₄ dan emisi N₂O paling kecil daripada kegiatan pengangkutan. Berdasarkan data yang diperoleh, sampah organik yang terkelola oleh ITF Kota Hijau sebanyak $8,7 \times 10^6$ Kg/Tahun dalam kurun waktu 3 tahun yakni dari tahun 2018 sampai 2021. Dalam proses komposisi ini dihasilkan emisi CH₄ sebesar 34.894 Kg/Tahun dan emisi N₂O sebesar 2.617,05 Kg/Tahun. Jumlah emisi selama penimbunan lebih tinggi daripada pengomposan dikarenakan proses pengomposan yang dilakukan beberapa sampah mengalami kondisi aerobik. Namun, selain emisi CH₄ juga terdapat emisi N₂O yang tinggi hal ini dikarenakan kondisi sampah saat pengomposan tidak pada kondisi aerobik dan kurang terkendali. Total analisis emisi gas rumah kaca dari kegiatan penimbunan pada TPA hingga ke pengolahan sampah organik menjadi kompos di ITF Kota Hijau Balikpapan dapat dilihat pada Tabel 9.

Tabel 9. Total Analisis Emisi GRK pada Kegiatan Pengelolaan Sampah Organik di ITF Kota Hijau Balikpapan

Tahap Pengelolaan	Emisi CO ₂ (Kg)	Emisi N ₂ O (Kg)	Emisi CH ₄ (Kg)	Emisi CO ₂ -eq (Kg)
Penimbunan	-	-	305.322,50	$6,411 \times 10^6$
Pengangkutan dan Pengomposan	1.721,49	2.617,14	34.849,09	$1,545 \times 10^6$

Emisi gas rumah kaca pada skenario pertama yakni penimbunan sampah organik yang di bawa langsung ke TPA memiliki nilai Emisi CO₂-eq sangat tinggi dibandingkan kegiatan pengangkutan dan pengomposan. Kontribusi emisi gas rumah kaca terbesar berasal dari kegiatan penimbunan sampah pada TPS ke TPA yakni sebesar $6,411 \times 10^6$ CO₂-eq. Hal ini disebabkan karena penimbunan sampah kurang terkontrol dimana sampah yang ditimbun pada bagian atas terdekomposisi dalam kondisi aerobik sedangkan sampah yang berada di bawah terdekomposisi secara anaerobik.

Pada skenario kedua yang dilakukan pengangkutan sampah organik dari Pasar Pandan Sari dan pengomposan di ITF Kota Hijau Balikpapan memiliki emisi sebanyak $1,545 \times 10^6$ Kg CO₂-eq. Emisi selama penimbunan lebih tinggi dibandingkan dengan kegiatan pengangkutan dan pengomposan, dikarenakan banyaknya kandungan karbon organik yang terurai selama proses penimbunan berlangsung dan tidak adanya pengelolaan untuk gas emisi CH₄ atau gas metana. Semakin besar jumlah sampah yang ditimbun maka konsentrasi CO₂-eq turut meningkat. Emisi yang dihasilkan selama penimbunan berasal dari aktivitas mikroba anaerobik (Sitorus, 2014). Berbeda halnya pada sampah organik yang hanya diangkut dan dikomposkan akan menghasilkan emisi yang sedikit karena sampah organik tersebut terdekomposisi secara ideal pada kondisi aerobik. Kegiatan pengomposan tidak hanya memberikan keuntungan teknis namun, memiliki implikasi ekonomi serta mampu mereduksi sampah organik. Meskipun dalam setiap kegiatan pengomposan tidak memungkiri dihasilkannya emisi, tetapi dalam kurun waktu satu tahun memiliki dampak positif terhadap pencegahan perubahan iklim.

4. KESIMPULAN

Dari hasil analisis dan perhitungan emisi gas rumah kaca diketahui bahwa dari kegiatan penimbunan sampah organik di TPS Pasar Pandan Sari menghasilkan emisi gas rumah kaca sebesar $6,411 \times 10^6$ Kg ekuivalen CO₂, pada kegiatan pengangkutan dan pengomposan diketahui emisi gas rumah kaca yang dihasilkan sebesar $1,545 \times 10^6$ Kg ekuivalen CO₂. Dapat diketahui bahwa kegiatan penimbunan yang kurang terkendali dapat meningkatkan emisi gas rumah kaca yang tanpa

disadari semakin meningkat seiring bertambahnya waktu. Dari analisis ini diketahui bahwa kegiatan pengomposan mampu mereduksi sampah organik yang dihasilkan serta memiliki nilai emisi yang kecil jika dibandingkan dengan kegiatan penimbunan. Serta dapat memberikan keuntungan secara teknis dan ekonomi.

DAFTAR PUSTAKA

- 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. doi: 10.20885/jstl.vol13.iss1.art2.
- Chaerul, M., Febrianto, A. and Tomo, H. S. (2020). Peningkatan kualitas penghitungan emisi gas rumah kaca dari sektor pengelolaan sampah dengan metode IPCC 2006 (Studi kasus: Kota Cilacap). *Jurnal Ilmu Lingkungan*, 18(1), 153–161. doi: 10.14710/jil.18.1.153-161.
- DLH Balikpapan (2021). Dinas Lingkungan Hidup Kota. Available at: <http://dlh.balikpapan.go.id>.
- IPCC. (2019). Chapter 3: Solid Waste Disposal, 2019 Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories.
- Karliansah, Mr. (2018). Komponen program pencontohan pengelolaan sampah berbasis 3R di Kota Palembang dan Kota Balikpapan. Jakarta.
- Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (2011, Juni). Perhitungan emisi GRK.
https://ditppu.menlhk.go.id/simpel/uploads/docs/1689562948_Perhitungan%20GRK%20Juli%202022%20-%20Juni%202023.pdf

Myhre, G., Shindell, D., Bréon, F. M., Collins, W., Fuglestedt, J., Huang, J., Koch, D., Lamarque, J. F., Lee, D., Mendoza, B., Nakajima, T., Robock, A., Stephens, G., Takemura, T., and Zhang, H. (2013). Anthropogenic and natural radiative forcing. In *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, 659–740. doi:10.1017/CBO9781107415324.018.

Sitorus, L. E. & Sembiring, E. (2014). Pengaruh aplikasi kompos terhadap emisi CO₂ dan karbon organik tanah. *Jurnal Teknik Lingkungan*, 18(2), 124–134. doi: 10.5614/jtl.2012.8.2.3