

EMISI GAS RUMAH KACA DARI PENGELOLAAN SAMPAH DI JAKARTA, INDONESIA

**NINDI SEKARSARI¹, GABRIEL ANDARI KRISTANTO¹, ASTRYD VIANDILA
DAHLAN¹**

¹ Program Studi Teknik Lingkungan, Departemen Teknik Sipil, Fakultas Teknik,
Universitas Indonesia, Depok 16424, Indonesia
Email: nindi.sekarsari01@ui.ac.id

ABSTRAK

Pengelolaan sampah perkotaan yang masih bertumpu pada pembuangan akhir di TPA (landfill) merupakan masalah lingkungan yang serius di Jakarta, Indonesia. Sistem pengelolaan sampah perkotaan berkontribusi terhadap emisi gas rumah kaca (GRK) pada semua tahapan pengelolaannya. Studi ini bertujuan memberikan gambaran umum tentang praktik pengelolaan sampah di Jakarta dan mengkaji kontribusi pengelolaan sampah perkotaan terhadap emisi GRK. Pada akhirnya dapat diketahui hotspot emisi GRK dalam tahapan pengelolaan sampah perkotaan dan lokasi spasial penyebaran emisi GRK di wilayah Jakarta. Perhitungan emisi GRK dilakukan pada setiap kota dan kabupaten administrasi pada tahun 2022 menggunakan Emission Quantification Tool (EQT) version II oleh Institute for Global Environmental Strategies (IGES). Hasil studi mengestimasi emisi GRK dari pengelolaan sampah perkotaan Jakarta pada tahun 2022 sebesar 1.516,60 ribu ton CO₂-eq/tahun dengan kontributor terbesar berada di Kota Administrasi Jakarta Barat sebesar 433,4 ribu ton CO₂-eq/tahun dan yang terkecil berada di Kabupaten Administrasi Kepulauan Seribu sebesar 2,7 ribu ton CO₂-eq/tahun. Secara total, emisi GRK dari pembuangan akhir di TPST Bantar Gebang (2.034,5 ribu ton CO₂-eq/tahun) memberikan kontribusi emisi terbesar di wilayah Jakarta. Jumlah penduduk, rendahnya praktik pengurangan sampah dan pengolahan sampah mempengaruhi besaran emisi GRK yang dihasilkan.

Kata kunci: gas rumah kaca, IGES, Indonesia, Jakarta, sampah perkotaan

ABSTRACT

Municipal solid waste (MSW) management, which still relies on final disposal in landfills, is a severe environmental problem in Jakarta, Indonesia. The municipal solid waste management system contributes to greenhouse gas (GHG) emissions at all stages of its management. This research aims to provide an overview of MSW practices in Jakarta and examine the contribution of municipal solid waste management to GHG emissions. Therefore, GHG emission hotspots can be identified in MSW management stages and the spatial location of GHG emission distribution in the Jakarta area. GHG emission calculations were carried out for each administrative city and district in 2022 using the Emission Quantification Tool (EQT) version II by the Institute for Global Environmental Strategies (IGES). The research results in estimated GHG emissions from Jakarta's municipal solid waste management in 2022 of 1.516,60 thousand tons CO₂-eq/year, with the most significant contributor being in the Administrative City of West Jakarta of 433,4 thousand CO₂-eq/year and the smallest being in the Administrative District of Thousand Islands of 2,7 thousand tons of CO₂-eq/year. GHG emissions from final disposal in TPST Bantar Gebang (2.034,5 thousand CO₂-eq/year) made the most significant contribution in Jakarta. Total population, low waste reduction practices, and waste processing affected the GHG emissions produced.

Keywords: green house gasses, IGES, Indonesia, Jakarta, municipal solid waste.

1. PENDAHULUAN

Secara global, sekitar 2,01 miliar ton sampah perkotaan di dunia diproduksi setiap tahun, yang diperkirakan akan meningkat hampir dua kali lipat pada tahun 2050, sehingga akan meningkatkan masalah di masa depan (Gautam dan Agrawal, 2021). Peningkatan timbulan sampah ini disebabkan oleh pertumbuhan penduduk, perkembangan ekonomi dan perubahan pola konsumsi (Chen dan Lo, 2016). Peningkatan urbanisasi, perubahan gaya hidup, dan konsumsi yang semakin intensif, diperkirakan akan menyebabkan pengelolaan sampah semakin rumit, terutama di negara-negara berkembang (Chuenwong dkk., 2022). Beragam permasalahan lingkungan akibat sistem pengelolaan sampah yang tidak terkelola dengan baik dan tepat antara lain emisi gas rumah kaca (GRK), banjir, pencemaran air dan pencemaran udara (Batool dan Chuadhry, 2009). Peningkatan emisi GRK berkontribusi pada kenaikan suhu bumi yang dapat menyebabkan perubahan iklim global (IPCC, 2006).

Pengelolaan sampah menghasilkan emisi GRK pada semua tahapan pengelolaannya mulai dari timbulan sampah, pengumpulan, pengangkutan, pengolahan sampah hingga pemrosesan akhir (Kristanto dan Koven, 2020). Praktik pengelolaan sampah Jakarta masih bertumpu pada Tempat Pemrosesan Akhir (TPA) yang dapat menghasilkan emisi GRK yang besar (Karosekali, 2018). Selain itu, berdasarkan data Dinas Lingkungan Hidup (DLH) Jakarta (2021), terjadi *trend* peningkatan timbulan sampah, pengurangan sampah yang masih terbatas dan dengan pengelolaan sampah yang masih menerapkan pola *business as usual* yaitu sampah di kumpulkan, diangkut kemudian dibuang ke TPA maka diperkirakan Tempat Pengolahan Sampah Terpadu (TPST) Bantar Gebang sebagai satu-satunya TPA untuk wilayah Jakarta berpotensi akan *over capacity* dalam menampung sampah DKI Jakarta.

Hingga saat ini, penelitian yang berfokus pada pengurangan emisi GRK di sektor pengelolaan sampah di tingkat kota di negara berkembang masih terbatas (Chuenwong dkk., 2022). Bahkan informasi *baseline* tentang emisi GRK secara holistik dan khusus untuk pengelolaan sampah perkotaan di Jakarta belum tersedia. Studi ini bertujuan untuk mengestimasi emisi GRK secara spesifik dari sektor pengelolaan sampah perkotaan Jakarta untuk mengetahui *hotspot* emisi GRK dalam tahapan sistem pengelolaan sampah dan lokasi spasial penyebaran emisi GRK terbesar di wilayah Jakarta. Perhitungan kuantifikasi emisi GRK dari pengelolaan sampah perkotaan eksisting di Jakarta tersebut dapat dijadikan sebagai *baseline* penentuan kebijakan pengelolaan sampah rendah emisi untuk mewujudkan pembangunan rendah karbon daerah yang berketahanan iklim dan kota Jakarta yang berkelanjutan ke depannya.

2. METODE

2.1. Status Pengelolaan Sampah Jakarta

Jakarta memiliki daratan seluas 662,33 km², berupa lautan seluas 6.977,5 km² dan terbagi menjadi 5 (lima) wilayah kota administrasi yaitu Jakarta Pusat (JP), Jakarta Barat (JB), Jakarta Selatan (JS), Jakarta Timur (JT) dan Jakarta Utara (JU) serta 1 (satu) kabupaten administrasi yaitu Kepulauan Seribu (KS) (DKI Jakarta, 2007). Timbulan sampah per kapita di Jakarta adalah sebesar 3,4004 liter/orang/hari dengan densitas sampah sebesar 0,2036 kg/liter (DKI Jakarta, 2013). Komposisi sampah didominasi oleh sampah mudah terurai (organik) sebesar 54% dan sampah anorganik sebesar 46% (DKI Jakarta, 2013). Jika ditinjau dari sumber sampah, pemukiman (rumah tangga) mendominasi sumber sampah perkotaan di Jakarta sekitar 60,50%, kemudian diikuti oleh kawasan komersial seperti perkantoran, restoran, hotel dan pertokoan (DKI Jakarta, 2011).

Pelaksanaan pengelolaan sampah perkotaan di Jakarta berada dibawah koordinasi DLH Jakarta dibantu dengan Unit Pengelola Sampah Terpadu (UPST), Unit Penanganan Sampah Badan Air, Unit Pengelola Teknis Laboratorium Lingkungan Hidup Daerah serta 6 Suku Dinas Lingkungan Hidup Kota/Kabupaten Administrasi (DKI Jakarta, 2022). Pola penanganan sampah dari sumber rumah tangga, mayoritas diawali dengan pengumpulan sampah secara individual tidak langsung oleh petugas gerobak menggunakan gerobak/gerobak motor menuju Tempat Penampungan Sampah (TPS)/Tempat Pengolahan Sampah 3R (TPS 3R)/kontainer. Setelahnya, sampah akan diangkut menggunakan truk sampah milik Pemerintah Jakarta ke TPST Bantar Gebang. TPST Bantar Gebang adalah proses terakhir dalam sistem pengelolaan sampah dimana sampah yang berasal dari TPS diangkut, diolah dan ditimbun di TPST Bantar Gebang (DKI Jakarta, 2021).

2.2. Sumber Data

Penelitian ini menggunakan data primer dan data sekunder (Tabel 1). Data primer yang diambil dalam penelitian ini adalah data pengumpulan sampah yang dilakukan oleh petugas gerobak dari sumber sampah ke TPS di wilayah Jakarta yang belum tersedia dari laporan resmi institusi terkait. Data ini meliputi rata-rata jarak tempuh sumber sampah dengan lokasi TPS dan konsumsi bahan bakar yang digunakan.

Pengambilan data primer menggunakan kuesioner dan wawancara langsung dengan petugas gerobak yang menggunakan kendaraan bermotor dan operator pada lokasi *sample* TPS di wilayah DKI Jakarta. Berdasarkan Rea dan Parker (2004), proporsi *sampling* untuk kuesioner di TPS Tipe 1 wilayah Jakarta adalah sebesar 39 lokasi TPS yang tersebar di 5 kota administrasi dan 1 kabupaten administrasi. Data sekunder diambil dari Laporan Kebijakan dan Strategi Daerah (Jakstrada) Pengelolaan Sampah Jakarta Tahun 2021 yang sudah di validasi resmi kemudian diproyeksikan untuk timbulan sampah tahun 2022 dengan skema *Business as Usual* (BaU).

Tabel 1. Kebutuhan Data Penelitian

Data	Sumber
Data pengumpulan sampah yang dilakukan oleh petugas gerobak dari sumber sampah ke TPS di wilayah Jakarta	Wawancara dan Kuesioner
Timbulan sampah di Jakarta Tahun 2022	DLH Jakarta
Komposisi dan karakteristik sampah di Jakarta	DLH Jakarta
Data pengangkutan sampah yang dilakukan Pemerintah Provinsi DKI Jakarta	DLH Jakarta
Jumlah dan komposisi sampah (laporan Jakstrada tahun 2021) yang dilakukan pengurangan sampah di sumber dan fasilitas pengolahan sampah	KLHK RI dan DLH Jakarta
Faktor emisi dan komponen perhitungan EQT versi II lainnya.	Kajian Pustaka

2.3. Mass Balance Pengelolaan Sampah

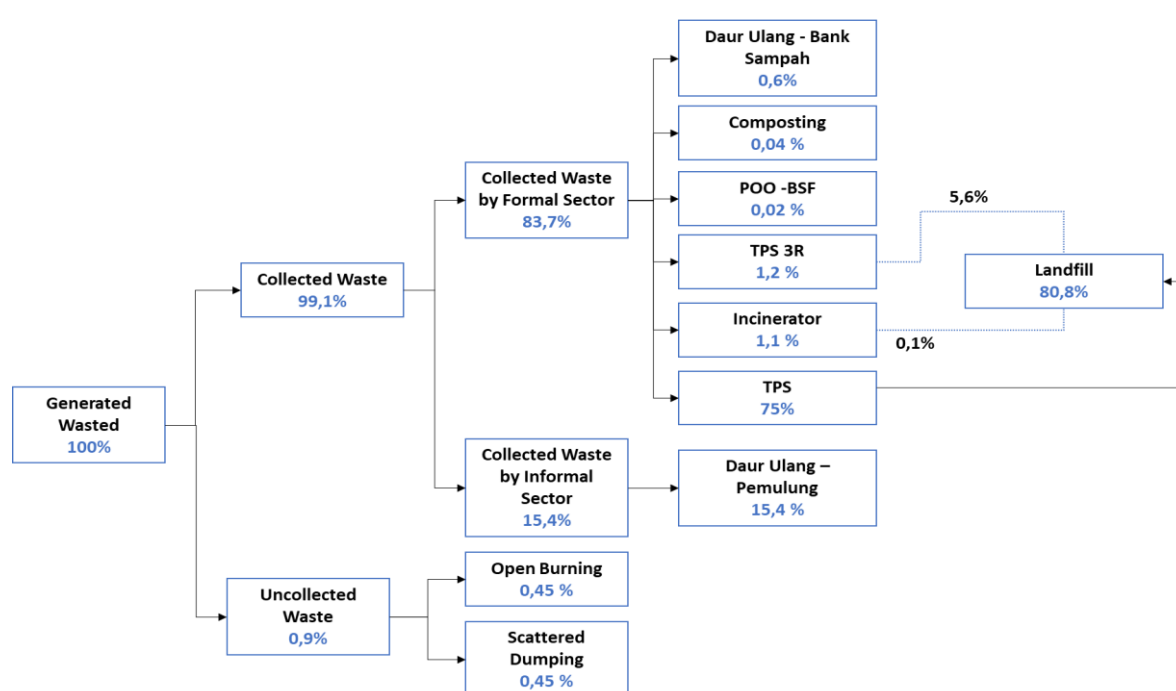
Proyeksi timbulan sampah tahun 2022 dilakukan dengan menggunakan standar timbulan sampah per kapita Jakarta sebesar 0,6923 kg/orang/hari sesuai Peraturan Gubernur DKI Jakarta Nomor 108 Tahun 2019 tentang Jakstrada Pengelolaan Sampah Jakarta (Tabel 2).

Tabel 2. Timbulan Sampah Jakarta Tahun 2022

Wilayah	Jumlah Penduduk (jiwa)	Timbulan Sampah (ton/tahun)	Wilayah	Jumlah Penduduk (jiwa)	Timbulan Sampah (ton/tahun)
JP	1.227.827	310.268,50	JT	3.340.963	844.252,38
JB	2.922.658	738.547,77	JU	1.976.597	499.480,71
JS	2.822.748	713.300,85	KS	25.845	6.531,08
Provinsi	12.316.637	3.112.381			

Sumber: DKI Jakarta, 2019

Pemerintah Jakarta telah menerbitkan beberapa peraturan dan kebijakan dalam upaya pengurangan sampah di sumber, diantaranya pelarangan penggunaan kantong plastik sekali pakai di pusat perbelanjaan, toko swalayan dan pasar rakyat. Selain itu juga dikeluarkan peraturan terkait upaya pendaur ulangan dan/atau pemanfaatan kembali sampah di sumber. Tujuannya agar warga Jakarta dapat mengurangi volume sampah yang dibawa ke TPST Bantar Gebang, meningkatkan efektivitas pengelolaan sampah melalui kemandirian dan partisipasi masyarakat. Upaya penanganan sampah dilakukan melalui penyediaan fasilitas-fasilitas pengolahan sampah, namun masih dalam jumlah dan kapasitas yang terbatas, diantaranya: TPS 3R, Pusat Olah Organik (POO) melalui *Black Soldier Fly* (BSF), dan pengolahan sampah secara *thermal* pada Pembangkit Listrik Tenaga Sampah (PLTSa) Merah Putih, menggunakan teknologi insinerasi. Oleh karena itu, berdasarkan upaya pengurangan dan penanganan sampah yang telah dilakukan tersebut, perhitungan *mass balance* pengelolaan sampah Jakarta terlihat dalam Gambar 1.



Gambar 1. Mass Balance Pengelolaan Sampah Perkotaan Jakarta Tahun 2022

2.4. Perhitungan Emisi

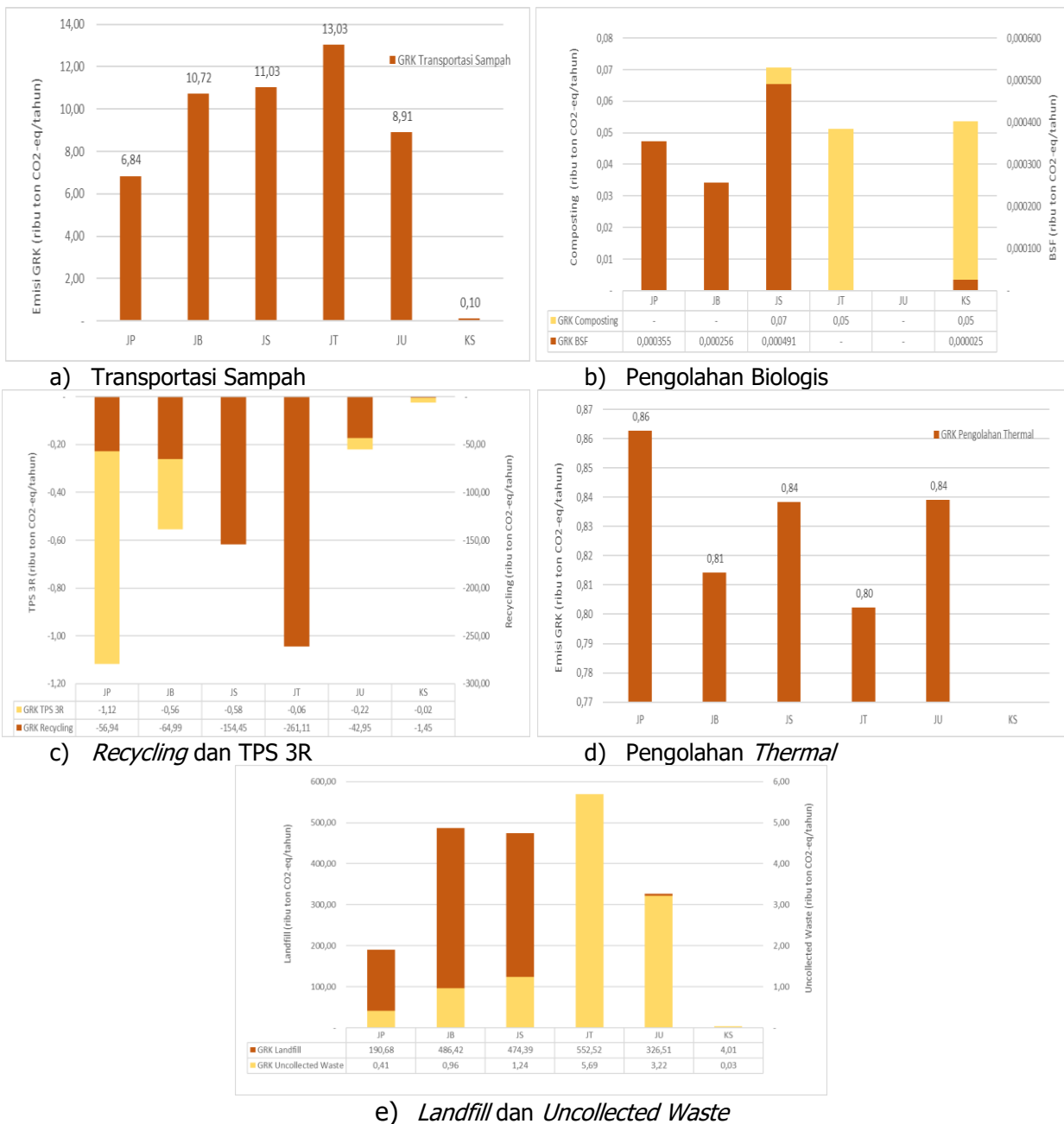
Emisi GRK yang dihitung dalam studi ini mulai dari tahapan timbulan sampah, pengurangan sampah di sumber (daur ulang, pengomposan skala rumah tangga), transportasi sampah (pengumpulan-pengangkutan sampah), pengolahan sampah pada fasilitas (TPS 3R, PLTSa, POO) hingga *landfill* dari seluruh kota/kabupaten administrasi wilayah Jakarta pada tahun 2022. Emisi GRK yang dihitung berupa emisi langsung/*direct* yang terjadi dalam tahapan pengelolaan sampah. Sumber lain seperti penggunaan bahan bakar/listrik untuk mesin dan alat pada aktivitas operasional teknologi pengolahan sampah berada di luar cakupan studi ini.

Metode perhitungan GRK yang digunakan pada penelitian ini dari transportasi sampah, pengomposan, *recycling*, insinerasi, *landfilling* dan sampah tidak terkelola menggunakan *Emission Quantification Tool (EQT) for Estimating Short Lived Climate Pollutants (SLCPs) and Other Greenhouse Gases (GHGs) from Waste Sector 2018 version II* yang dikembangkan oleh *Institute for Global Environmental Strategies (IGES)*. EQT merupakan alat perhitungan/

hal ini memberikan dampak pada emisi GRK yang besar. Dilihat dari tahapan pengelolaan sampah Jakarta tahun 2022, kontribusi penimbunan sampah di TPA (*Landfilling*), merupakan *hotspot* kontributor terbesar untuk GRK dari segi tahapan pengelolaan sampah yaitu sebesar 2.034,5 ribu ton CO₂-eq/tahun. Belum optimalnya pengurangan sampah di sumber dan upaya GRK *Avoidance* dari *material recovery* seperti daur ulang sampah dan *energy recovery* seperti pemanfaatan listrik dari insinerator, menyebabkan jumlah sampah yang diangkut ke TPST Bantar Gebang dari seluruh kota dan kabupaten administrasi masih sekitar 70-80% dari timbulan sampah yang dihasilkan.

3.2. Analisis Emisi GRK Tahapan Pengelolaan Sampah

Perbandingan emisi GRK pada setiap tahapan pengelolaan sampah yang dihitung untuk masing-masing kota dan kabupaten administrasi Jakarta terlihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Perbandingan Emisi GRK per Tahapan Pengelolaan Sampah antar Wilayah Jakarta Tahun 2022

3.2.1. Analisis Emisi GRK dari Transportasi Sampah

Terdapat dua jenis transportasi sampah yang dipertimbangkan dalam penelitian ini yaitu kendaraan pengumpul sampah berupa gerobak motor atau mobil *pick up* yang menggunakan Bahan Bakar Minyak (BBM) bensin serta kendaraan pengangkut sampah berupa truk sampah yang menggunakan BBM solar. Jenis BBM dan jumlah sampah yang ditransportasikan mempengaruhi besarnya faktor emisi dari transportasi sampah. Emisi GRK terbesar dari transportasi sampah berasal dari Kota Administrasi Jakarta Timur yaitu 13,03 ribu ton CO₂-eq/tahun (Gambar 3 (a)) sebagai implikasi dari transportasi untuk memindahkan sampah sebesar 1.715,83 ton/hari ke TPST Bantar Gebang. Jumlah ini merupakan jumlah sampah yang paling besar untuk di transportasikan di wilayah Jakarta. Secara umum, kontribusi transportasi sampah terhadap emisi GRK merupakan kedua terbesar setelah penimbunan di TPA (Gambar 2 (b)).

Total emisi GRK dari transportasi sampah di Jakarta adalah sebesar 50,63 ribu ton CO₂-eq/tahun. Nilai ini hampir 10 kali lebih besar dibandingkan dengan emisi GRK dari transportasi sampah di Kota Bandung pada tahun 2016 yang hanya sebesar 4,83 ribu ton CO₂-eq/tahun (hanya untuk truk sampah) (Karosekali, 2018). Perbedaan nilai ini disebabkan karena perbedaan besaran timbulan yang harus diangkut dan kebutuhan BBM yang diperlukan per harinya untuk pengangkutan sampah. Kota Bandung hanya memerlukan BBM sekitar 4.970 liter/hari (Karosekali, 2018) sedangkan Jakarta berdasarkan pendataan memerlukan 47.026,9 liter/hari. Berbagai penelitian sebelumnya mendorong dilakukannya penghematan penggunaan BBM dengan optimalisasi ritasi, skema pengangkutan dan daya angkut serta penggantian jenis bahan bakar yang dapat dijadikan salah satu pilihan untuk mengurangi emisi GRK dari transportasi sampah di Jakarta (Nurfauziah, 2022).

3.2.2. Analisis Emisi GRK dari Pengolahan Biologis

Jenis pengolahan sampah secara biologis yang dilakukan di wilayah Jakarta adalah pengomposan dan BSF. Emisi GRK yang dikeluarkan selama proses pengolahan biologis yang pertama adalah emisi GRK dari pemanfaatan energi fosil (listrik/solar) untuk berbagai kegiatan operasional di fasilitas, namun hal ini tidak diperhitungkan dalam studi ini dan yang kedua adalah emisi GRK dari degradasi sampah organik selama proses pengomposan. Emisi GRK dihasilkan dari degradasi sampah organik, sebagian besar dari karbon organik terdegradasi dalam sampah diubah menjadi CO₂. Emisi CO₂ ini merupakan emisi biogenik dan tidak akan diperhitungkan untuk perhitungan GRK.

Secara total, kontribusi pengolahan sampah organik melalui pengomposan adalah sebesar 0,18 ribu ton CO₂-eq/tahun sedangkan untuk BSF hanya sebesar 0,001 ribu ton CO₂-eq/tahun. Jenis emisi utama untuk emisi GRK dari pengomposan adalah Metana. CH₄ dapat terbentuk karena degradasi anaerobik sampah di lapisan dalam tumpukan kompos. Penelitian oleh Quiros dkk. (2014) menunjukkan bahwa kompos yang biasanya dibuat oleh masyarakat, mengeluarkan lebih banyak 4,6 kali CH₄ dan 5,8 kali N₂O daripada kompos yang dikontrol yang dibuat oleh para ahli. Hal ini disebabkan karena manajemen produksi pengomposan (kualitas dan komposisi aliran sampah, frekuensi pencampuran sampah, pemantauan kelembaban dan suhu) serta kondisi cuaca (Quiros dkk., 2014).

Jika dibandingkan dengan pengolahan biologis lainnya, pengomposan merupakan pilihan teknologi yang relatif lebih murah dengan tujuan stabilisasi sampah yang sama dengan *Anaerobik Digester* (AD) seperti yang disoroti oleh Lin dkk. (2019) untuk sampah organik. Selain itu, pengomposan adalah pilihan pengolahan limbah biologis lain yang mengemisikan lebih sedikit GRK daripada yang diemisikan oleh AD (Maria dkk., 2017).

Besaran emisi GRK yang tidak signifikan dari pengomposan dan BSF di Jakarta disebabkan karena kapasitas pengolahannya yang masih sangat terbatas. Kapasitas pengolahan dari total timbulan sampah yang melalui pengomposan dan BSF hanya sebesar 0,06% untuk JP, 0,02% untuk JB, 0,09% untuk JS, tidak ada pengolahan di JU, 0,03% untuk JT dan 4,67% di KS. Padahal, dengan komposisi sampah organik yang besar di Jakarta, pengolahan biologis dapat menjadi salah satu pilihan teknologi pengolahan sampah yang utama dan juga selain mengemisikan emisi GRK, pengolahan biologis turut memberikan GRK *Avoidance*/reduksi GRK dari upaya *material recovery* pemanfaatan pupuk untuk keperluan pertanian.

3.2.3. Analisis Emisi GRK dari *Recycling* (Daur Ulang)

Proses *recycling* tidak melepaskan emisi GRK langsung tetapi mengurangi emisi dari sampah ke atmosfer. Emisi tidak langsung dari penggunaan BBM atau listrik pada alat pengolah saat proses daur ulang, diluar cakupan studi ini. Oleh karena itu, berdasarkan EQT versi II, emisi GRK dari daur ulang adalah berupa emisi GRK yang dihindari karena proses *recovery material* yang ditandai dengan nilai negatif sebagai bentuk reduksi emisi GRK. Di wilayah Jakarta, *recycling* sampah dilakukan oleh sektor formal melalui Bank Sampah dan sektor informal melalui lapak/pemulung. Perbandingan kapasitas daur ulang sampah di Jakarta berdasarkan laporan, lebih besar dari sektor informal melalui pemulung/lapak (15,4%) dibandingkan sektor formal melalui bank sampah (0,6%) (Gambar 1). *Recycling* merupakan upaya untuk menghindari emisi GRK dari produksi material *virgin*. Nilai negatif berdasarkan penghematan GRK dihitung sebagai net emisi dari emisi GRK *recycling*, berjumlah sekitar -581,90 ribu ton CO₂-eq/tahun untuk wilayah Jakarta, dengan kontributor terbesar adalah wilayah Jakarta Timur yaitu sebesar -261,11 ribu ton CO₂-eq/tahun (Gambar 3 (c)).

Seperti halnya di Myanmar, sektor informal dalam kegiatan daur ulang juga merupakan hal yang umum di negara tersebut (Premakumara dkk., 2017). Dalam penelitian Tun dan Juchelkova (2019), peningkatan pengolahan sampah melalui *recycling* di Myanmar, terbukti efektif dalam menekan emisi GRK yang dihasilkan. Sekitar 50% penurunan emisi GRK dihasilkan akibat skenario pengelolaan sampah dengan 10% *recycling*, 10% pengomposan, 65% *landfilling* dan pengolahan eksisting lainnya (Tun dan Juchelkova, 2019).

Sektor *recycling* dapat menghindari emisi GRK dalam jumlah besar tidak hanya dari produksi *virgin material* tetapi juga dari penghematan sumber daya material langka untuk dieksploitasi (Tun dan Juchelkova, 2019). Oleh karena itu, *recycling* biasa disebut sebagai salah satu metode pengolahan sampah terbaik dalam pengelolaan sampah setelah upaya pembatasan timbulan, pengurangan, dan penggunaan kembali di sumber. Jakarta perlu meningkatkan tingkat pemilahan dan pengumpulan sampah di sumber untuk meningkatkan daur ulang. Hal ini terutama melalui sektor formal yang dibina dan dikelola Pemerintah, yang saat ini kapasitasnya bahkan tidak mencapai 1 % dari total timbulan sampah Jakarta (Gambar 1). Pemilahan membutuhkan partisipasi publik dan keterlibatan sektor swasta melalui kerjasama, pusat pelatihan, sekolah, dukungan regulasi dan penerapannya.

3.2.4. Analisis Emisi GRK dari Pengolahan di TPS 3R

Pengolahan sampah yang umum dilakukan dalam TPS 3R wilayah Jakarta adalah daur ulang sampah anorganik dan pengomposan (Gambar 4). Pada penelitian ini faktor emisi untuk TPS 3R diasumsikan sebesar -76,19 kg CO₂-eq/ ton sampah, dengan mempertimbangkan kapasitas pengolahan sampah di TPS 3R sebesar 70-90% berdasarkan kajian literatur (Sunarto dkk., 2014). Total Emisi GRK dari TPS 3R untuk wilayah Jakarta di tahun 2022 adalah sebesar -2,56 ribu ton CO₂-eq. Nilai negatif diperoleh dari proses *recovery material* pada pengomposan yang menghindari emisi GRK dari produksi pupuk kimia dan daur ulang sampah yang menghindari emisi GRK dari produksi *virgin material*. Kota Jakarta Pusat

memiliki kapasitas pengolahan terbesar sehingga menghasilkan reduksi emisi GRK terbesar yaitu -1,12 ribu ton CO₂-eq/tahun (Gambar 3 (c)).

Jika dibandingkan dengan besaran GRK *Avoidance* dari *Recycling*, nilai dari TPS 3R masih jauh lebih kecil, kualitas dan kuantitas dari TPS 3R di wilayah Jakarta masih sangat terbatas. Berdasarkan data DLH Jakarta tahun 2021, jumlah TPS 3R di Jakarta adalah 38 unit, dengan kapasitas pengolahan total sebesar 92 ton/hari atau hanya 1,2% dari total timbunan sampah Jakarta (Gambar 1). Peningkatan daur ulang dengan memperbaiki fungsi TPS dari tempat penampungan sementara menjadi TPS 3R dapat dijadikan sebagai salah satu cara di Jakarta untuk mengurangi volume sampah yang diangkut di TPA terlebih dengan ancaman kondisi TPST Bantar Gebang yang *over capacity* setiap harinya. Sebagaimana penelitian di TPS Tlogomas, Malang, Jawa Timur, pengolahan sampah di TPS Tlogomas pada saat ini berhasil menurunkan emisi GRK sebesar 72% dan menurunkan volume sampah yang dibuang sebesar 68% dibandingkan jika semua sampah dibuang ke TPA Supit Urang. Nilai ini dapat meningkat mencapai 89% penurunan emisi GRK dan 88% penurunan volume sampah apabila lebih dari 90% sampah diolah di TPS Tlogomas (Sunarto dkk., 2014).

3.2.5. Analisis Emisi GRK dari Pengolahan *Thermal*

Dalam penelitian ini, pengolahan sampah secara *thermal* menggunakan teknologi insinerasi pada PLTSa Merah Putih. Insinerasi dilakukan melalui proses kontinyu dengan *stoker* dan semua abu yang dihasilkan sekitar 10% dikirim ke TPST Bantar Gebang. Komposisi sampah merupakan *input* utama yang secara langsung memengaruhi besarnya emisi GRK dari insinerasi.

Emisi GRK yang dihasilkan dari insinerasi di Jakarta untuk tahun 2022 adalah sebesar 4,16 ribu ton CO₂-eq/tahun. Jika dilihat pada Gambar 3 (d), besaran nilai emisi GRK ini hampir sama untuk semua Kota Administrasi kecuali Kabupaten Administrasi Kepulauan Seribu karena diasumsikan bukan merupakan sumber sampah untuk insinerasi. Kapasitas insinerasi yang masih terbatas 100 ton/hari atau hanya 1,1% dari total timbunan sampah Jakarta (Gambar 1), turut mempengaruhi besaran emisi GRK dari hasil pembakaran sampah pada insinerator yang tidak besar. Selain itu, efisiensi *energy recovery* dari listrik yang dihasilkan dari proses insinerasi diasumsikan sebesar 20% dengan 20% pemanfaatan listrik yang digunakan dalam kegiatan operasional pada fasilitas PLTSa. Hal ini menjadi penting karena insinerasi sampah tanpa *energy recovery* dan daur ulang abu, juga dianggap sebagai penyumbang emisi GRK (Tabata, 2013).

Emisi GRK pada proses insinerasi utamanya dihasilkan dari pembakaran bahan bakar fosil yang terdapat dalam kandungan sampah seperti plastik dan kain yang mengemisikan gas CO₂. Dalam penelitian ini, rata-rata emisi GRK yang dihasilkan dari pembakaran sampah pada insinerasi adalah sekitar 388,24 kg CO₂/ton sampah, dengan GRK *Avoidance* dari pemanfaatan listrik (*energy recovery*) sebesar -264,91 kg CO₂/ton sampah, sehingga net emisi GRK menjadi 123,22 kg CO₂/ton sampah.

Penelitian di Brazil oleh Lino dan Ismail (2017), dijelaskan bahwa insinerasi memberikan beberapa manfaat seperti pengurangan volume hingga 90%, menghindari emisi metana dari tumpukan sampah dan kemungkinan adanya *energy recovery*. Hal yang perlu dipertimbangkan ketika menjadikan insinerasi sebagai *highlight* dari pengolahan sampah adalah dapat terhambatnya pertumbuhan daur ulang, seperti kontrak jangka panjang yang terlihat di beberapa bagian Uni Eropa dimana infrastruktur insinerasi atau fasilitas limbah menjadi energi lainnya memerlukan jaminan pemerintah kota setempat untuk menyediakan

sampah yang mudah terbakar dalam jangka waktu tertentu (Schneider dan Ragossnig, 2015).

3.2.6. Analisis Emisi GRK dari *Landfill*

Belum adanya pemanfaatan *landfill* gas yang optimal dan jumlah sampah yang besar, menjadikan emisi GRK dari TPST Bantar Gebang menjadi yang paling besar dari seluruh tahapan pengelolaan sampah di Jakarta. Gambar 3 (e) memperlihatkan besaran emisi GRK tahun 2022 untuk *landfill* dari yang terbesar adalah Jakarta Timur sebesar 552,52 ribu ton CO₂-eq/tahun, 486,42 ribu ton CO₂-eq/tahun untuk Jakarta Barat, 474,39 ribu ton CO₂-eq/tahun untuk Jakarta Selatan, 326,51 ribu ton CO₂-eq/tahun untuk Jakarta Utara, Jakarta Pusat sebesar 190,68 ribu ton CO₂-eq/tahun dan yang terkecil 4,01 ribu ton CO₂-eq/tahun dari Kepulauan Seribu.

Besaran nilai tersebut memperlihatkan bahwa emisi GRK dari *landfill* merupakan kontributor terbesar untuk seluruh Kota dan Kabupaten Administrasi wilayah Jakarta. Jumlah sampah yang harus ditimbun di TPST Bantar Gebang secara *open dumping* dari seluruh wilayah Jakarta mencapai 80,8% dari total timbulan sampah di tahun 2022 (Gambar 1). Sama halnya dengan beberapa kota lain di Indonesia, *landfill* memegang kontribusi utama dalam peningkatan emisi GRK dari sektor persampahan. Penelitian di beberapa kota di Indonesia seperti Kota Depok, dengan kondisi 50% sampah dibawa ke TPA (*controlled landfill*) diemisikan 109,4 ribu ton CO₂-eq/tahun (Kristanto dan Koven, 2020) begitu pula di Kota Bandung, dengan kondisi eksisting 100% sampah dibawa langsung ke TPA *open dumping*, diemisikan GRK pada tahun 2035 sebesar 450 ribu ton CO₂-eq/tahun (Karosekali, 2018) dan di Kota Kendari sebesar 50,01 ribu ton CO₂-eq/tahun di emisikan dari Puwatu Landfill (Chaerul dkk., 2016).

Proses dekomposisi anaerobik pada TPA menimbulkan sekitar 60% metana dan 40% karbon dioksida. Emisi CH₄ yang tidak terkendali dari TPA telah terdaftar sebagai sumber emisi CH₄ antropogenik terbesar kedua, menyumbang hingga 19% dari emisi CH₄ global (67–90 juta ton CH₄ per tahun) (IPCC, 2013).

3.2.7. Analisis Emisi GRK dari *Uncollected Waste*

Uncollected waste atau sampah yang tidak terkelola yang dimaksud dalam penelitian ini adalah sampah yang mengalami *open burning* (pembakaran sampah terbuka) dan *scattered dumping* (sampah tercecer). Dalam penelitian ini diasumsikan besaran komposisi sampah yang mengalami *open burning* dan *scattered dumping* adalah 50:50.

Jumlah sampah yang tidak terkelola di Jakarta tergolong cukup kecil, hanya sekitar 0,9% dari total timbulan sampah (Gambar 1), namun memberikan nilai emisi GRK yang cukup tinggi yaitu total sebesar 11,55 ribu ton CO₂-eq/tahun, dengan nilai tertinggi berada di Kota Jakarta Timur sebagai kota dengan timbulan sampah dan jumlah penduduk tertinggi.

Open burning menyebabkan terjadinya emisi GRK dan pencemaran udara yang memberikan dampak negatif bagi lingkungan dan kesehatan. Senyawa-senyawa berbahaya yang dihasilkan dari pembakaran terbuka antara lain CO, CO₂, CH₄, NO_x, SO₂, senyawa *Volatile Organic Compound* (VOC), PM_{2.5}, PM₁₀ (Das dkk., 2018). Sedangkan tumpukan sampah pada lokasi yang tidak tepat (*scattered dumping*) dapat meningkatkan risiko kesehatan dan cedera manusia bila lokasi pembuangan yang terlalu dekat permukiman, peningkatan vektor penyakit (lalat, tikus, dll), risiko tumpukan yang runtuh, dan risiko kebakaran (UNEP, 2011).

4. KESIMPULAN

Kegiatan pengelolaan sampah perkotaan Jakarta untuk tahun 2022 menghasilkan emisi GRK sebesar 1.516,60 ribu ton CO₂-eq/tahun dengan *hotspot* lokasi spasial kontributor terbesar berada di Kota Administrasi Jakarta Barat. Pembuangan sampah di *landfill* TPST Bantar Gebang, merupakan *hotspot* emisi GRK terbesar yang terjadi selama tahapan pengelolaan sampah di Jakarta. Sedangkan transportasi sampah menjadi kontributor terbesar kedua.

Jumlah penduduk mempengaruhi besarnya timbulan sampah yang dihasilkan, timbulan sampah yang tinggi dapat menyebabkan upaya pengelolaan sampah yang dilakukan semakin kompleks. Upaya pengelolaan sampah mengemisikan GRK dari proses pengolahan sampah yang dilakukan namun juga dapat memberikan GRK *Avoidance* dari proses material dan *energy recovery* seperti *recycling* sampah yang dapat mengurangi emisi GRK dari produksi *virgin* material, pengomposan/ BSF yang dapat mengurangi emisi GRK dari penggunaan pupuk kimia, dan insinerator yang dapat menghindari emisi GRK dari produksi listrik bahan bakar fosil.

Upaya pengelolaan sampah tersebut, baik yang dilakukan melalui pengurangan sampah di sumber (skala rumah tangga) maupun pengolahan sampah di fasilitas, masih dalam kuantitas dan kapasitas yang terbatas serta masih terdapat cukup banyak residu pengolahan dan sampah lain yang harus diangkut ke TPST Bantar Gebang. Oleh karenanya, perlunya penelitian lanjutan terkait pemilihan strategi pengelolaan sampah yang tepat untuk Jakarta dalam rangka pengurangan sampah serta menciptakan pengelolaan sampah yang rendah emisi dan berkelanjutan.

DAFTAR PUSTAKA

- Batool, S.A., & Chuandry, M.N.(2009). The impact of municipal solid waste treatment methods on greenhouse gas emissions in Lahore, Pakistan. *Waste Management*, 29,63-69.
- Chaerul, M., Dirgantara, G.G., & Akib, R. (2016). Prediksi Emisi Gas Rumah Kaca dari Sektor Sampah di Kota Kendari, Indonesia. *Jurnal Manusia dan Lingkungan*, 23 (1), 42-48.
- Chen, Y-C.,& Lo, S-L. (2016). Evaluation of greenhouse gas emissions for several municipal solid waste management strategies. *Journal of Cleaner Production*, 113, 606-612.
- Chuenwong, K.,Wangjiraniran, W., Pongthanaisawan, J., Sumitsawan, S., & Suppamit, T. (2022). Municipal solid waste management for reaching net-zero emissions in ASEAN tourism twin cities: A case study of Nan and Luang Prabang. *Heliyon*, Volume 8, Issue 8.
- Das, B., Bhawe, P. V., Sapkota, A., & Byanju, R. M. (2018). Estimating emissions from open burning of municipal solid waste in municipalities of Nepal. *Waste management (New York, N.Y.)*, 79, 481–490.
- DKI Jakarta. (2022). Peraturan Gubernur DKI Jakarta Nomor 57 Tahun 2022 tentang Organisasi dan Tata Kerja Perangkat Daerah Lampiran XVI Dinas Lingkungan Hidup.
- DKI Jakarta. (2021). Peraturan Gubernur DKI Jakarta Nomor 55 Tahun 2021 tentang Pengurangan dan Penanganan Sampah.
- DKI Jakarta.(2019).Peraturan Gubernur DKI Jakarta Nomor 108 Tahun 2019 tentang Kebijakan dan Strategi Daerah (Jakstrada) Provinsi DKI Jakarta dalam Pengelolaan Sampah Rumah Tangga dan Sampah Sejenis Sampah Rumah Tangga.
- DKI Jakarta. (2013). Surat Keputusan Kepala Dinas Kebersihan Provinsi DKI Jakarta Nomor 334 Tahun 2013 tentang Timbulan, Komposisi dan Karakteristik Sampah di DKI Jakarta.
- DKI Jakarta. (2007). Surat Keputusan Gubernur DKI Jakarta tentang Penataan, Penetapan Batas dan Wilayah Kelurahan di Provinsi Daerah Khusus Ibukota Jakarta.

- Gautam, M., & Agrawal, M. (2021). Greenhouse Gas Emissions from Municipal Solid Waste Management: A Review of Global Scenario. *Carbon Footprint Case Studies, Environmental Footprints, and Eco-design of Products and Processes*.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2006). Chapter 4 Biological treatment of solid waste. 2006 IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories Vol.5 waste.
- Institute for Global Environmental Strategies (IGES). (2018). User's Manual Emission Quantification Tool (EQT) for Estimating Short-Lived Climate Pollutants (SLCPs) and Other Greenhouse Gases (GHGs) from Waste Sector.
- Karosekali, K. (2018). Greenhouse gas emissions from municipal solid waste management in Bandung, Indonesia. Environmental Science Wageningen University and Research. (Master Thesis in Environmental Science, Wageningen University).
- Kristanto, G.A., & Koven, W. (2020). Estimating greenhouse gas emissions from municipal solid waste management in Depok, Indonesia. *City and Environment Interactions*, 4.
- Lin, L., Shah, A., Keener, H., Li, Y. (2019). Techno-economic analyses of solid-state anaerobic digestion and composting of yard trimmings. *Waste Management*, 85, 405–416.
- Lino, F.A.M., Ismail, K.A.R. (2017). Incineration and recycling for MSW treatment: A case study of Campinas, Brazil. *Sustainable Cities and Society*, 35, 752–757.
- Maria, F.D., Sisani, F. (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), 13.
- Nurfauziah, Nadya. (2022). Analisis Jejak Karbon dari Transportasi Pengangkutan Sampah di DKI Jakarta. (Undergraduate Thesis in Environmental Engineering, Universitas Indonesia).
- Premakumara, D.G.J., Hengesbaugh, M., Onogawa, K., Hlaing, O.M.T. (2017). Waste management in Myanmar: Current status, key challenges and recommendations for national and city waste management strategies. Institute for Global Environmental Strategies (IGES). Japan.
- Quirós, R., Villalba, G., Muñoz, P., Colón, J., Font, X., & Gabarrell, X. (2014). Environmental assessment of two home composts with high and low gaseous emissions of the composting process. *Resource Conservation Recycle*, 90, 9–20.
- Sunarto, Sudharto, P.H., & Purwanto. (2014). Jejak Karbon Pengolahan Sampah di TPS Tlogomas Malang. *Jurnal Media Teknik Sipil*, 12(2), 191-196.
- Schneider, D. R., & Ragossnig, A. M. (2015). Recycling and incineration, contradiction or coexistence? *Waste management & research: the journal of the International Solid Wastes and Public Cleansing Association, ISWA*, 33(8), 693–695.
- Tabata, T., 2013. Waste-to-energy incineration plants as greenhouse gas reducers: A case study of seven Japanese metropolises. *Waste Manag. & Research*, 31 (11), 1110–1117.
- Tun, M.M., & Juchelkova, D. (2019). Estimation of greenhouse gas emissions: an alternative approach to waste management for reducing the environmental impacts in Myanmar. *Environ. Eng. Res.* 24 (4), 618–629.
- United Nations Environment Programme (UNEP). (2011). Disaster Waste Management Guidelines. Swedish Civil Contingencies Agency - Joint UNEP/OCHA Environment Unit.