

PERKIRAAN EMISI GAS RUMAH KACA DARI TEMPAT PEMBUANGAN SAMPAH BERBASIS *REDUCE, REUSE, RECYCLE (3R)* DI KOTA BOGOR

(Green House Gasses Estimation of Municipal Recycling Facilities (MRF) In Bogor City)

YUDITH VEGA PARAMITADEVI¹, NURUL JANNAH², BEATA RATNAWATI³

^{1,2,3}Program Studi Teknik dan Manajemen Lingkungan, Sekolah Vokasi, IPB University,
Jl Kumbang No 14, Kota Bogor

E-mail : yudith.vega@apps.ipb.ac.id

Diterima : 7 Maret 2022 / Disetujui : 18 Oktober 2022

ABSTRACT

Greenhouse gasses (GHGs) emissions are currently a worldwide concern, both in the process of reducing or preventing them. The study aims to calculate and to assess the contribution of GHGs based on waste management activities at the MRF. The activity components is special activities at MRF (composting). The estimation of greenhouse gas emissions is calculated based on the 2006 Tier 1 method of The Intergovernmental Panel on Climate Change. The GHGs assessment is carried out on these two processes, starting from the production of waste from domestic sources to composting. The study indicates that the average value of GHGs calculations for composting activities at MRF is 0.182 tons CO₂eq/year. If the calculation of waste reduction through the composting process at TPS 3R is applied, the average GHG reduction percentage is 0.16%. Moreover, there is a causal relationship between the waste management program and the reduction in landfill waste, which will lead to reduced GHGs emissions.

Keywords : Composting, GHGs, IPCC, MRF, Solid Waste Management

ABSTRAK

Emisi gas rumah kaca (GRK) saat ini menjadi perhatian seluruh dunia, baik itu dalam proses pengurangan ataupun pencegahan. Penelitian ini bertujuan untuk menghitung dan menilai kontribusi GRK khususnya pada aktivitas komposting di TPS 3R. Estimasi emisi gas rumah kaca dihitung berdasarkan metode *The Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)* Tahun 2006 *Tier 1*. Metode pengelolaan sampah eksisting di TPS 3R disandingkan dengan metode pengelolaan sampah tanpa TPS 3R/ langsung dibawa ke TPA Galuga. Penilaian GRK dilakukan terhadap dua proses tersebut, dimulai dari produksi sampah sumber timbulan domestik hingga pengomposan. Hasil dari penelitian ini menunjukkan nilai rerata perhitungan GRK untuk kegiatan pengomposan di TPS 3R diperoleh sebesar 0,182 ton CO₂-eq/tahun. Apabila perhitungan reduksi sampah melalui proses komposting di TPS 3R diterapkan, persentase reduksi rerata GRK diperoleh sebesar 0,16%. Dengan demikian ada hubungan sebab akibat antara program pengolahan sampah dengan pengurangan timbunan sampah di TPA, yang akan menyebabkan berkurangnya emisi GRK.

Kata kunci : Emisi gas rumah kaca, IPCC, pengelolaan sampah, pengomposan, TPS 3R

PENDAHULUAN

Aktivitas pengelolaan sampah secara umum terdiri dari pengumpulan, pengangkutan, pemilahan, pengolahan dan pembuangan residu akhir (Raharjo *et al.* 2017). Selama proses pengelolaan berlangsung, timbunan sampah menghasilkan emisi gas rumah kaca (GRK) yang didominasi oleh CH₄ dan berpotensi meningkatkan dampak perubahan iklim (Chen & Lin 2008; Yuan *et al.* 2020). Analisis perkiraan GRK yang timbul dari aktivitas pengelolaan sampah dapat dilakukan menggunakan metode IPCC (2006). Metode IPCC (2006) dapat diterapkan di suatu wilayah dan dapat menunjukkan data GRK yang mudah dikomunikasikan dalam proses pengambilan keputusan oleh pihak berwenang untuk kegiatan reduksi GRK (Kementerian Lingkungan Hidup Dan Kehutanan 2020).

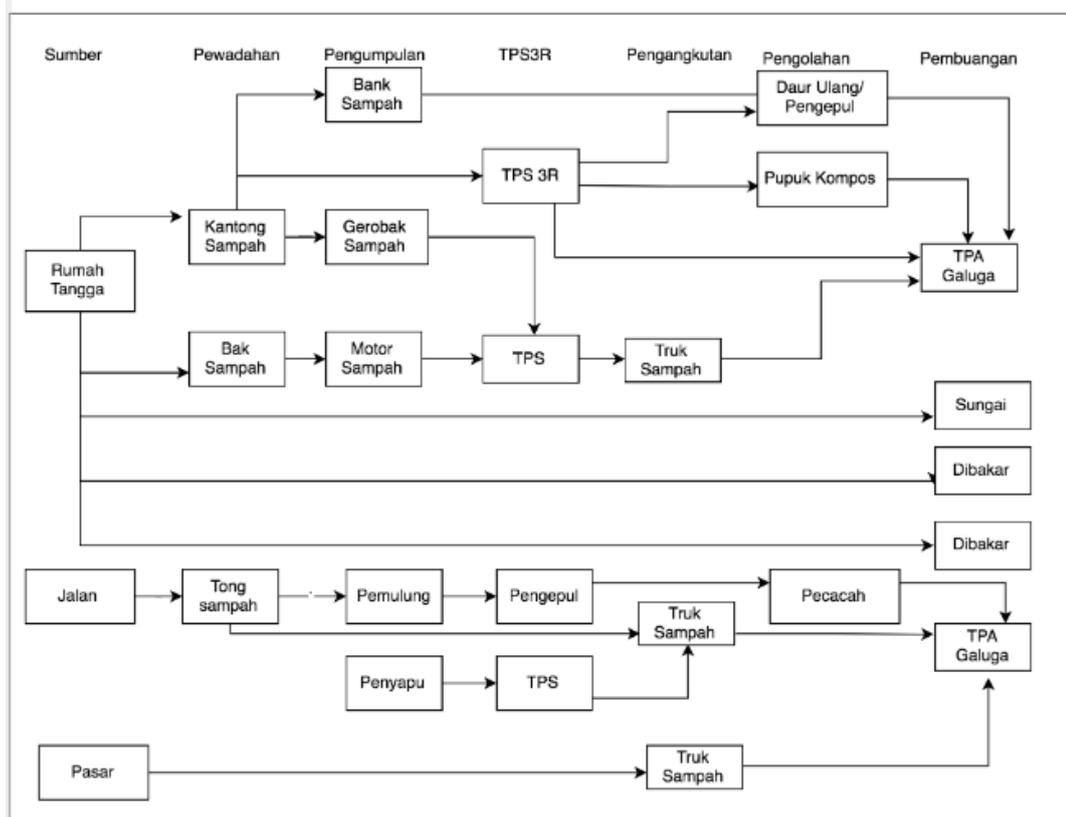
Kota Bogor adalah salah satu area lingkaran luar DKI Jakarta, Indonesia yang berperan sebagai area studi kasus dalam penelitian ini. Wilayah tersebut memiliki kepadatan penduduk di tahun 2017 sebesar 9.359 jiwa/m² (BPS Kota Bogor 2021). Semakin tinggi kepadatan penduduk di suatu wilayah, semakin perlu penanganan terhadap sampah dilakukan (Sari *et al.* 2021). Praktik pengelolaan sampah yang melibatkan masyarakat umumnya diawali dengan campur tangan pemerintah, terutama di negara-negara berkembang (Lian *et al.* 2020). Pemerintah Republik Indonesia memprakarsai program-program pengelolaan sampah, di antaranya Program Bank Sampah dan Infrastruktur Tempat Pembuangan Sampah *Reduce, Reuse, dan Recycle* (TPS 3R). Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (KLHK) mengeluarkan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup No 13 tahun 2012 tentang Pedoman Pelaksanaan *Reduce, Reuse, dan Recycle* (3R) melalui Bank Sampah yang berbasis pemberdayaan bagi anggotanya, sedangkan Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat (Kementerian PUPR) memiliki Peraturan Menteri Pekerjaan Umum Republik Indonesia No 03/PRT/M/2013 tentang Penyelenggaraan Prasarana dan Sarana Persampahan dalam Penanganan Sampah Rumah Tangga dan Sampah Sejenis Sampah Rumah Tangga. Di dalam Permen PU RI No 03/PRT/M/2013 pasal 20 disebutkan tentang kewajiban pengelola usaha dan pemerintah Kota/Kabupaten untuk menyediakan fasilitas TPS 3R.

Hasil “Paris Agreement” yang ditetapkan untuk Indonesia memuat target kontribusi penurunan GRK dalam bentuk dokumen *Nationally Determined Contribution* (NDC). Selama periode pertama, Indonesia mempunyai target mengurangi emisi 29% dengan upaya sendiri pada tahun 2030 (Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan 2020). Pada tahun 2018, Indonesia berhasil mengurangi GRK di sektor limbah sebesar 287.774 Ton CO₂-eq atau 0,01% (Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan 2020). Metode standar IPCC (2006) yang digunakan dalam perhitungan GRK berbasis pada pengelolaan sampah di TPA dan industri, sedangkan penelitian mengenai perhitungan GRK di TPS 3R masih jarang dilakukan. Tujuan penelitian ini untuk menghitung dan menilai kontribusi GRK berdasarkan aktivitas pengelolaan sampah di TPS 3R.

Komponen aktivitasnya terdiri dari aktivitas biasa (pengumpulan dan pengangkutan) dan aktivitas khusus di TPS 3R (komposting, insinerasi, daur ulang dan pembuangan residu), dalam penelitian ini fokus perhitungan hanya untuk aktivitas khusus komposting.

METODE PENELITIAN

Aktivitas pengelolaan sampah akan berbeda di lokasi satu dengan lainnya (Cai *et al.* 2014). Tiap material yang ada dalam sampah padat perkotaan akan memiliki jenis emisi GRK yang berbeda tergantung dari metode pengelolaan yang diaplikasikan. Dalam rangka pengukuran GRK untuk area pengelolaan sampah regional, hal penting yang diperlukan adalah menentukan aktivitas yang menghasilkan emisi gas yang akan dihitung dan dianalisis untuk dinilai. Alur klasifikasi jenis sampah di TPS 3R kota Bogor diambil sebagai alur proses, metode pengelolaan sampah eksisting di TPS 3R akan disandingkan dengan metode pengelolaan sampah tanpa TPS 3R/ langsung dibawa ke Tempat Pembuangan Akhir (TPA) Galuga. Penilaian GRK dilakukan terhadap dua proses tersebut, dimulai dari produksi sampah sumber timbulan domestik hingga daur ulang material dan berakhir di *landfill*. Penilaian proses didalamnya adalah volume sampah, proses terjadi selama sampah ada di TPS 3R dalam alur pengelolaan sampah perkotaan di Kota Bogor (Gambar 1). Satuan digunakan sebagai basis perhitungan adalah ton sampah per tahun. Jenis emisi GRK yang dibahas adalah CH₄ sebagai hasil dari proses pengomposan sesuai penelitian Darmawan (2018) di Kota Yogyakarta, dan Isnaini & Wilujeng (2013); Pramestyawati & Warmadewanthi (2013) di Kota Surabaya.



Gambar 1 Alur Pengelolaan Sampah Perkotaan di Kota Bogor
Sumber : Nugraha (2019)

Data penelitian diambil secara sekunder dan primer. Data sekunder berupa timbulan, komposisi sampah warga kota Bogor dan data dasar TPS 3R diambil dari Sistem Informasi Pengelolaan Sampah Nasional (SIPSN) serta Dinas Lingkungan Hidup (DLH) Kota Bogor. Data primer berupa data enam TPS 3R (tingkat kepercayaan 65%) sebagai perwakilan enam kecamatan di Kota Bogor dari total 26 TPS 3R, terdiri dari Kecamatan Bogor Utara, Bogor Timur, Bogor Tengah, Bogor Selatan, Bogor Barat dan Tanah Sareal. Data primer dikumpulkan untuk memperoleh gambaran nyata pengelolaan TPS 3R di Kota Bogor. Data sekunder tiga tahun (2019-2021) diolah menggunakan acuan IPCC (2006) *Tier 1*. Rumusannya antara lain (IPCC 2006) :

$$Emisi CH_4 = \left(MSW_T \times MSW_f \times MCF \times DOC \times DOCF \times F \times \frac{16}{12} - R \right) \times (1 - OX)$$

Keterangan :

- MSW_T = Jumlah penduduk kota Bogor dikalikan timbulan sampah
- MSW_f = Fraksi timbulan sampah yang ditimbun (100%)
- MCF = Faktor koreksi metana; 0,4
- DOC = Degradasi organik karbon (Kg C/Kg sampah)
- DOCF = Fraksi dari DOC; 0,5
- F = Fraksi dari CH₄ di TPA; 0,5
- R = Recovery CH₄ (ton/ tahun)
- OX = Faktor oksidasi; 0,1
- 16/12 = Konversi dari C ke CH₄

% Reduksi Sampah = Total Sampah di Kota Bogor – Total Sampah Masuk ke TPS 3R

$$Emisi CH_4 = \left(\sum M_i \times E_{fi} \right) \times 10^3 - R$$

Keterangan :

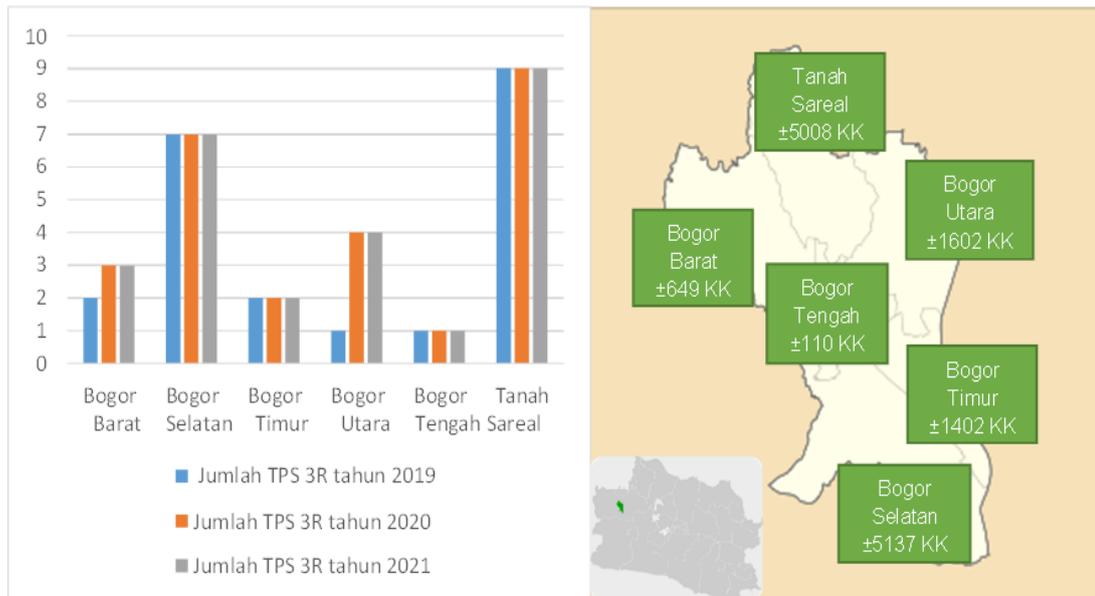
- M_i = Massa sampah yang dikomposkan (Gg/ tahun)
- E_{fi} = Faktor emisi pada proses pengomposan (g CH₄/ kg)
- R = Jumlah *recovery* emisi CH₄ (Gg CH₄)

HASIL DAN PEMBAHASAN

Gambaran Pengelolaan Sampah TPS 3R di Kota Bogor

Pengelolaan sampah dengan konsep TPS 3R di Kota Bogor sudah berlangsung sejak tahun 2011 hingga saat ini. Dalam perkembangannya, Pemerintah Kota Bogor di bawah DLH Kota Bogor bekerjasama dengan Kementerian PUPR RI dalam pembangunan dan pemantauan pelaksanaan TPS 3R sehingga kondisi TPS 3R dapat diketahui secara aktual. Perkembangan jumlah TPS 3R mengalami peningkatan dan penurunan, namun kisaran jumlah masih dalam rentang 24-26 TPS 3R selama tiga tahun terakhir (Gambar 2). Berdasarkan Gambar 2, Kecamatan Tanah Sareal menempati urutan pertama sebagai wilayah dengan jumlah TPS 3R, diikuti oleh Kecamatan Bogor Selatan dan Kecamatan Bogor Utara. Kecamatan Bogor Tengah menempati urutan terakhir sesuai dengan luasan wilayah pelayanan 813 Ha, lebih lanjut, pengelola

TPS 3R tersebut adalah aparatur di DLH Kota Bogor. Jumlah sampah terlayani di Kota Bogor mendekati angka 70% (Nugraha 2019), rerata sampah yang masuk ke TPS 3R selama tiga tahun terakhir (2019-2021) sebesar 141,39 ton sampah/ tahun atau setara dengan 0,33% dari total timbulan sampah di Kota Bogor selama tiga tahun terakhir. Lebih lanjut, TPS 3R di tiap kecamatan belum dapat melayani keseluruhan sampah yang timbul dari tiap Kepala Keluarga (KK) di Kota Bogor namun dapat mengolah sampah sekitar 61,41% dari total sampah yang masuk ke TPS 3R.

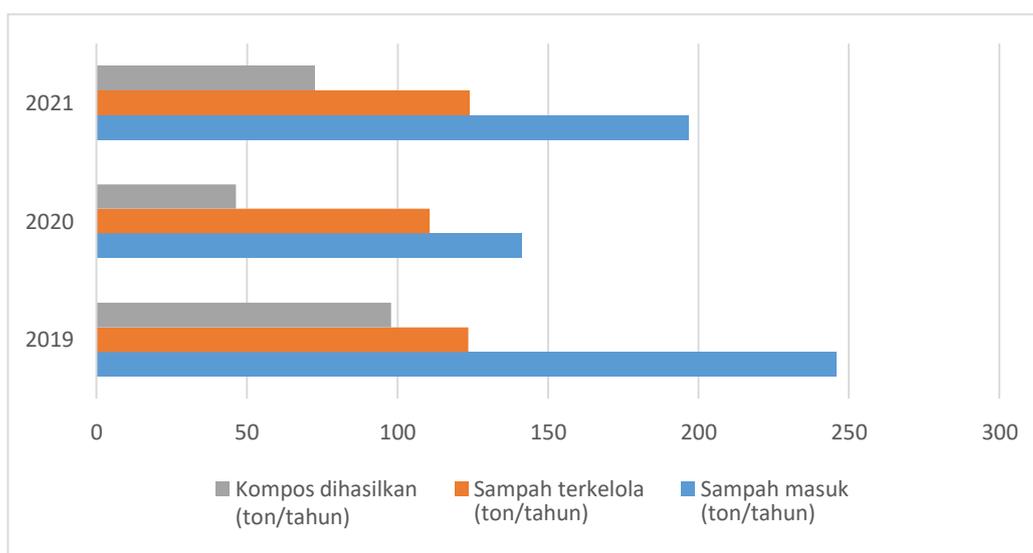


Gambar 2 Jumlah TPS 3R dan KK Terlayani oleh TPS 3R di Kota Bogor dalam tiga Tahun Terakhir

Tipikal pengelolaan persampahan di TPS 3R Kota Bogor terdiri dari pengangkutan dari tiap KK ke TPS 3R, pemrosesan sampah dan pengangkutan residu sampah dari TPS 3R menuju TPA Galuga. Pemrosesan sampah menghasilkan produk kompos (41,85%), bahan daur ulang (31,94%), pakan ternak (19,16%), bahan untuk *up-cycle* (7,05%). Ketika dibandingkan dengan kota lain di Indonesia yang program TPS 3R nya berjalan seperti di Kota Tangerang Selatan, seluruh 41 TPS 3R di sana memproses sampahnya menjadi bahan daur ulang. Kabupaten Badung di Provinsi Bali yang tipikal jumlah penduduk hampir sama dengan Kota Bogor memiliki proporsi sampah diolah di TPS 3R untuk daur ulang (39,82%) dan untuk pakan ternak (31,76%). Penelitian Ismail (2018) menyebutkan bahwa pemrosesan sampah model MRF tiap daerah berbeda satu sama lain, tergantung dari kondisi sosial budaya dan pendekatan teknologi oleh pemerintah tiap daerahnya.

Selama tiga tahun terakhir, jumlah sampah terkelola dan menjadi produk kompos mengalami fluktuasi meskipun jumlah sampah yang masuk ke TPS 3R berkurang (Gambar 3). Implementasi program pemerintah lain seperti bank sampah dan rumah kompos selama dua tahun terakhir yang menggeliat di Kota Bogor menjadi salah satu penyebab berkurangnya sampah masuk ke TPS 3R. Menurut Yuan *et al.* (2020), menggeliatnya fasilitas persampahan lain di dalam

satu wilayah yang sama akan mempengaruhi pergerakan aliran sampah masuk di fasilitas awal persampahan. Kebijakan pemerintah selama pandemi di tahun 2020 untuk melakukan Pembatasan Pergerakan Kegiatan skala Mikro (PPKM) juga berpengaruh dalam penurunan sampah masuk ke dalam TPS 3R. Penyebab lainnya adalah keterbatasan tatakelola dan sumber daya manusia (SDM) untuk mengelola sampah selama pandemi. Di tahun 2021, jumlah sampah masuk mulai meningkat seiring penurunan kasus pandemi di Indonesia.



Gambar 3 Rerata jumlah sampah masuk dan terkelola di TPS 3R dalam 3 tahun terakhir

Perbandingan Pengelolaan Sampah TPS 3R per Kecamatan

Tahap paling awal dalam pengelolaan sampah di TPS 3R adalah pewadahan di tingkat KK, pola pewadahan individual diterapkan oleh anggota TPS 3R untuk diangkut oleh petugas TPS 3R. Tahap kedua adalah pengumpulan sampah menggunakan gerobak dan motor gerobak sampah menuju ke TPS 3R dengan waktu pengangkutan pada pagi hari. Sampah yang diangkut kemudian diturunkan ke hanggar untuk dilakukan proses pemilahan.

Proses pemilahan umumnya dilakukan secara manual dengan memanfaatkan lebih kurang 2-12 orang pekerja yang bekerja untuk memilah 3-4 jenis sampah. Jenis sampah tersebut antara lain sampah organik, sampah anorganik yang masih dapat dijual, sampah anorganik yang perlu di daur ulang agar dapat digunakan kembali dan sampah residu. Kondisi tersebut telah sesuai dengan aturan SNI 3242:2008 tentang Pengelolaan Sampah di Pemukiman yang menyatakan sampah di fasilitas TPS setidaknya dipilah menjadi 4 jenis. Komposisi sampah organik yang dapat dikelola berdasar hasil pengamatan adalah 49,6%-74%, berikutnya sampah yang dapat didaur ulang sebesar 0,51%-24%. Tiap kecamatan memiliki kekhasan dalam proses pengolahan sampah (Tabel 1) antara lain metode *open windrow* untuk proses kompos (Gambar 4), metode *black soldier fly* (BSF) untuk pembuatan pakan ternak, teknologi anaerobik digester untuk menghasilkan biogas. Hal penting yang perlu menjadi perhatian adalah keberlanjutan pemeliharaan alat pencacah dan

pengayak sampah, mesin gerobak motor dan reaktor biogas sehingga dapat berfungsi optimal.

Tabel 1 Proses pengolahan sampah di TPS 3R perwakilan 6 Kecamatan di Kota Bogor

Nama TPS 3R	Wilayah Kecamatan	Komposisi Sampah	Pemrosesan & Neraca Sampah
Bubulak Asri	Bogor Barat	Sampah organik, 49,6% Plastik, 19,8% Diapers, 12,2% Lainnya, 18,4%	Pengomposan, 9,52% Biogas, 40,08% Daur Ulang, 10,3% Residu, 40,1%
Taruna Kompos	Bogor Selatan	Sampah organik, 40% Kardus, 20% Plastik, 6% Besi, 6% Kaca, 6% Lainnya, 19%	Pengomposan, 36% Daur Ulang, 0,51% Residu, 63,49%
Paledang	Bogor Tengah	Sampah organik, 60,6% Kertas, 12,2% Plastik, 10,2% Lainnya, 17%	Pengomposan, 35,2% Pakan Ternak, 52,3% Residu, 12,5%
Ciparigi II	Bogor Utara	Sampah organik, 74% Plastik, 5% Kardus, 9% Kertas, 6% Lainnya, 6%	Pengomposan, 35,21% Biogas, 9,8% Daur ulang, 11,92% Residu, 43,07%
Mutiara Bogor Raya(MBR)	Bogor Timur	Sampah organik, 41% Kertas, 16% Plastik, 14% Kardus, 12,2% Lainnya, 16,8%	Pengomposan, 22,12% Pakan Ternak, 13,88% Daur Ulang, 24% Residu, 40%
Bukit <i>Cimanggu</i> City (BCC)	Tanah Sareal	Sampah organik, 67% Kertas, 5% Plastik, 5% Kardus, 4% Kaca, 4% Logam, 4% Lainnya, 11%	Pengomposan, 49,2% Biogas, 10,58% Daur Ulang, 21,79% Residu, 18,43%



Gambar 4 Alur pengomposan di TPS 3R Ciparigi II

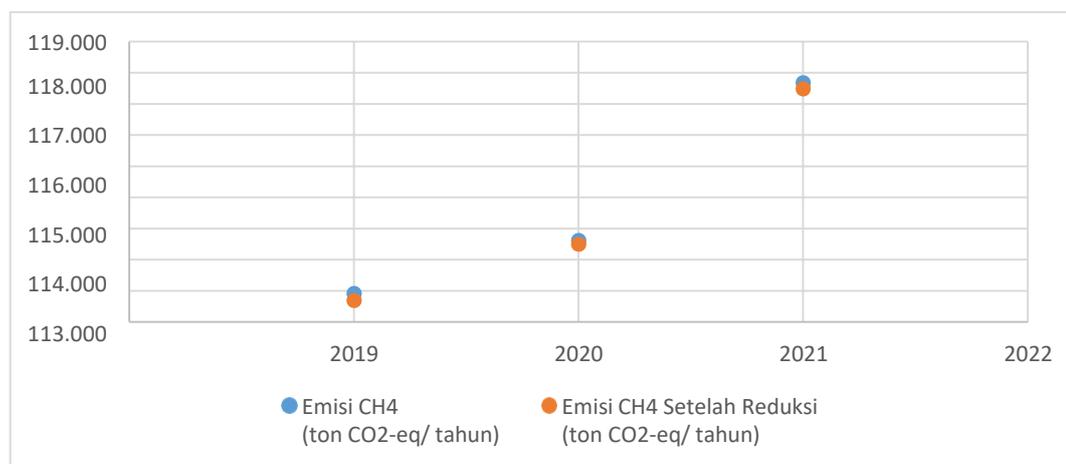
a. Sampah organik yang akan dikomposkan b. Proses pencacahan c. Proses pencampuran di komposter d. Pengomposan e. Proses penyaringan f. Kompos dikemas

Perkiraan Emisi GRK dan Potensi Reduksi GRK dari TPS 3R

Timbunan sampah dapat terdegradasi dan menghasilkan GRK, proses yang diperhitungkan dalam penelitian ini hanya melibatkan proses pengomposan di TPS 3R. Komponen *degradable organic carbon* (DOC) dalam sampah dikonversi menjadi gas CO_2 , sedangkan gas CH_4 terbentuk selama proses anaerobik dan aerobik kompos. Seluruh TPS 3R dimasukkan dalam perhitungan berbasis IPCC (2006) Tier 1 dan terdapat dua skenario reduksi GRK yang digunakan dalam penelitian ini. Skenario pertama yakni perhitungan tanpa adanya reduksi sampah, hal ini karena sampah diasumsikan langsung dibuang ke TPA sehingga rerata GRK dari tahun 2019 hingga tahun 2021 diperoleh 113,72 ton $\text{CO}_2\text{-eq}$ /tahun. Sebagai perbandingan, kota lain seperti Yogyakarta memiliki nilai GRK sebesar 89,13 ton $\text{CO}_2\text{-eq}$ /tahun pada tahun 2018 (Darmawan 2018). Peningkatan jumlah penduduk dari tahun ke tahun dan peningkatan *coverage area* pelayanan sampah di kota Bogor mempengaruhi besar kecilnya nilai GRK di Kota Bogor.

Nilai rerata perhitungan GRK untuk kegiatan pengomposan di TPS 3R diperoleh sebesar 0,182 ton $\text{CO}_2\text{-eq}$ /tahun. Dengan semikian, apabila scenario kedua yakni perhitungan dengan adanya reduksi sampah melalui proses komposting di TPS 3R diterapkan, presentase reduksi rerata GRK diperoleh sebesar 0,16% (Gambar 5). Peneliti Pramestiyawati dan Warmadewanthi (2013) menyampaikan bahwa terdapat hubungan sebab akibat yang kuat antara program pengolahan sampah dengan pengurangan timbunan sampah di TPA,

akibatnya emisi GRK akan berkurang. Implementasi pelaksanaan program TPS 3R berkontribusi dalam menyisihkan GRK meskipun persentasenya rendah.



Gambar 5 Potensi reduksi GRK dari TPS 3R selama tiga tahun terakhir

Keterbatasan penelitian ini adalah seluruh data yang diperhitungkan dalam perhitungan GRK diambil dari data sekunder, ke depannya diperlukan data primer agar tervalidasi, terutama untuk aspek *waste to energy* pemrosesan biogas di seluruh TPS 3R. Belum adanya penerapan pengolahan biologi atau pengolahan dengan komposter dalam program bank sampah di Kota Bogor, sehingga program lain seperti rumah kompos untuk penelitian selanjutnya dapat diperhitungkan dalam potensi reduksi GRK.

SIMPULAN

Hasil perhitungan berbasis IPCC (2006) *Tier 1* nilai rerata perhitungan GRK terkait aktivitas komposting diperoleh sebesar 0,182 ton CO₂-eq/tahun. Apabila pada Tahun 2019 – 2021 sampah yang dihasilkan langsung dibuang ke TPA tanpa adanya pengomposan terlebih dahulu menghasilkan rerata GRK sebesar 113,72 ton CO₂-eq/Tahun. Hal ini menunjukkan bahwa dengan adanya pengomposan dapat mereduksi GRK sebesar 0,16%.

SARAN

Didorong peran aktif swasta dalam melakukan penurunan emisi GRK melalui pemeliharaan peralatan pengelolaan sampah, terutama reaktor anaerobik digester di TPS 3R. inovasi pengembangan program bank sampah di Kota Bogor juga diperlukan, salah satunya melalui penerapan pengolahan biologi atau pengolahan dengan komposter. Program lain seperti penerapan rumah kompos perlu dilakukan penelitian lebih lanjut agar dapat diperhitungkan berapa potensi reduksi emisi GRK yang bisa dikendalikan.

DAFTAR PUSTAKA

BPS Kota Bogor. 2021. *Kota Bogor dalam angka Bogor municipality in figures 2021*. 1–250. <https://bogorkota.bps.go.id/publication/>.

- Cai, B. F., Liu, J. G., Gao, Q. X., Nie, X. Q., Cao, D., Liu, L. C., Zhou, Y., & Zhang, Z. S. 2014. *Estimation of methane emissions from municipal solid waste landfills in China based on point emission sources*. *Advances in Climate Change Research*, 5(2), 81–91. <https://doi.org/10.3724/SP.J.1248.2014.081>.
- Chen, T. C., & Lin, C. F. 2008. *Greenhouse gases emissions from waste management practices using Life Cycle Inventory model*. *Journal of Hazardous Materials*, 155 (1–2), 23–31. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2007.11.050>.
- Darmawan, D. A. 2018. Potensi reduksi emisi gas rumah kaca dari sektor bank sampah di Kota Yogyakarta dengan metode IPCC [Universitas Islam Indonesia]. In *Thesis*. <https://dspace.uui.ac.id/>.
- Ismail, G. 2018. Analisis keberlanjutan tempat pengolahan sampah 3R di Kota Bogor, studi kasus TPS 3R Kencana dan Cipaku. In *Bogor Agricultural University*. Bogor Agricultural University.
- Isnaini, R. dan Wilujeng, S. A. 2013. *Potensi gas rumah kaca pengelolaan sampah domestik di Kecamatan Rungkut Kota Surabaya*. Institut Sepuluh November.
- Kementerian Lingkungan Hidup Dan Kehutanan. 2020. *Pedoman penyusunan data aktivitas IGRK (Inventarisasi Gas Rumah Kaca) pemerintah daerah sektor limbah 2020* (R. A. Sugardiman (ed.); 1st ed.). Direktorat Jenderal Pengendalian Perubahan Iklim.
- Kementerian Lingkungan Hidup Dan Kehutanan. 2020. *Laporan inventarisasi gas rumah kaca (GRK) dan monitoring, pelaporan, verifikasi (MPV)*.
- Lian, H., Wang, D., dan Li, H. 2020. Waste sorting and its effects on carbon emission reduction: Evidence from China. *Chinese Journal of Population, Resources, and Environment*, 18(1), 26–34. <https://doi.org/10.1016/j.cjpre.2021.04.027>.
- Nugraha, A. P. 2019. *Pemodelan pengelolaan sampah padat rumah tangga berbasis komunitas di Kota Bogor*. Bogor Agricultural University.
- Pramestiyawati, T. N., dan Warmadewanthi, I. 2013. Potensi reduksi sampah terhadap penurunan timbulan gas rumah kaca di Tempat Pemrosesan Akhir (TPA) Kota Madiun. *Jurnal Teknik Pomits*, 2(2), 74–77.
- Raharjo, S., Matsumoto, T., Ihsan, T., Rachman, I., dan Gustin, L. 2017. Community-based solid waste bank program for municipal solid waste management improvement in Indonesia: a case study of Padang city. *Journal of Material Cycles and Waste Management*, 19(1), 201–212. <https://doi.org/10.1007/s10163-015-0401-z>.
- Sari, D., Rizki, M., Nathania, B., Ahmad, M., Gunawam Gan, P., & Noor, N. 2021. Indonesia zero emissions application (emisi): methodology for calculating individual emissions from food, clothing, electricity consumption, and solid waste. *World Resources Institute*. <https://doi.org/10.46830/writn.20.00095>.
- Yuan, Y., Li, T., dan Zhai, Q. 2020. Life cycle impact assessment of garbage-classification based municipal solid waste management systems: A comparative case study in China. *International Journal of Environmental*

Research and Public Health, 17(15), 1–20.
<https://doi.org/10.3390/ijerph17155310>.