

JRL	Vol.14	No.2	Hal. 135 - 145	Jakarta, Desember 2021	p-ISSN : 2085.38616 e-ISSN : 2580-0442
-----	--------	------	----------------	---------------------------	---

PELUANG DAN PERAN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA SAMPAH (PLTSA) DALAM PENURUNAN EMISI GAS RUMAH KACA (GRK)

**Amita I. Sitomurni, Dwi A. Darmawan, Widiatmini S. Winanti,
Teddy W. Sudinda, Petrus N. Raharjo**
Pusat Riset Teknologi Lingkungan, Badan Riset dan Inovasi Nasional,
Email : amita.indah@bppt.go.id

Abstrak

Sebagai negara yang telah meratifikasi Protokol Kyoto pada tahun 1998 dan Paris Agreement pada tahun 2015, maka Indonesia wajib untuk membuat laporan dari hasil pelaksanaan berbagai kegiatan dan pencapaian target-target yang ditetapkan oleh Konvensi. Pembakaran sampah menjadi energi listrik merupakan salah satu kegiatan untuk menurunkan emisi GRK pada Sektor Limbah/ Sampah dan ini diwujudkan di pilot plant PLTSA di TPA Bantargebang. Insinerator PLTSA Bantargebang tersebut dapat menurunkan 25.137,11 ton CO₂ eq berdasarkan perhitungan menggunakan metode IPCC, walau plant baru dioperasikan dengan kapasitas 30%. Kemampuan ini dapat ditingkatkan untuk menurunkan emisi GRK secara signifikan, sehingga plantv dengan metode ini dapat diperbesar kapasitasnya dan diterapkan pada kota-kota penghasil sampah terbesar di Indonesia.

Kata kunci : Protokol Kyoto, Paris Agreement, Gas Rumah Kaca (GRK), Pusat Listrik Tenaga Sampah (PLTSA), Mitigasi Perubahan Iklim/Pemanasan Global, International Panel on Climate Change (IPCC)

OPPORTUNITY AND ROLES OF MUNICIPAL WASTE POWER PLANT TO REDUCE GHG EMISSIONS

Abstract

As a country that has ratified the Kyoto Protocol in 1998 and the Paris Agreement in 2015, Indonesia is obliged to make a report on the results of the implementation of various activities and the achievement of the targets of the Convention. Burning waste into electrical energy is one of the activities to reduce GHG emissions in the Waste/Waste Sector which is realized at the PLTSa pilot plant at the Bantargebang solid waste disposal. The Bantargebang PLTSa incinerator can reduce 25.137,11 ton CO₂ eq based on calculations using the IPCC method even though the operation was run at 30% of the capacity. This capability can be increased to significantly reduce GHG emissions, so this method can be scaled up and applied to the largest waste-producing cities in Indonesia.

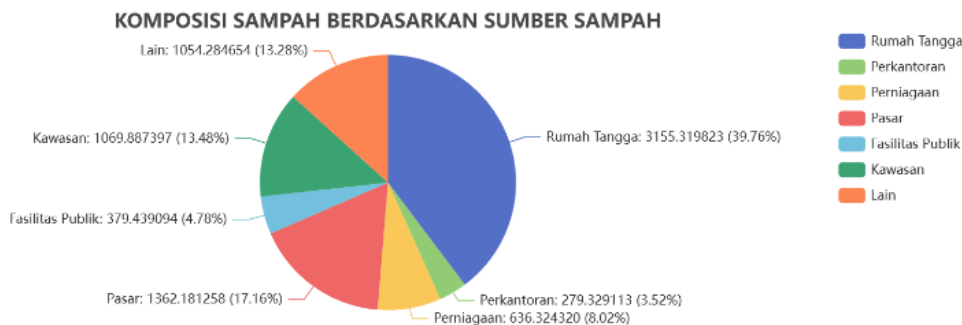
Keywords: Kyoto Protocol, Paris Agreement, Greenhouse Gases (GHG), Municipal Waste Power Plants (PLTSa), Climate Change/ Global Warming Mitigation, International Panel on Climate Change (IPCC)

I. PENDAHULUAN

Pertambahan timbulan sampah di Indonesia merupakan masalah yang cukup krusial untuk segera ditemukan cara tercepat untuk pengurangan dan penanganannya. Sebelum tahun 2008 sebagian besar sampah dibuang ke Tempat Pembuangan Akhir (TPA) yang merupakan *open dumping* dan sebagian kecilnya dimanfaatkan oleh pemulung baik untuk dimanfaatkan kembali atau diperjualbelikan. Pada tahun 2008 Pemerintah mulai mengatur persampahan dengan menerbitkan UU no.18/ tahun 2008 tentang Pengelolaan Sampah

Sejak saat itu berbagai upaya pengurangan sampah dilakukan secara

intensif diantaranya melalui program 3R yaitu *reduce, reuse, recycle, composting*, pemilahan dari sumbernya sampah sampai pada munculnya bank sampah. Akan tetapi program-program tersebut belum dapat mengatasi pertumbuhan volume sampah setiap tahunnya. Data Sistem Informasi Pengelolaan Sampah Nasional (SIPSN) tahun 2020 menyebutkan bahwa timbulan sampah mencapai 33.320.745,45 ton/ tahun. Jumlah sampah sangat besar ini, yang utamanya bersumber dari rumah tangga (39,76%) membutuhkan strategi yang cepat untuk pengurangannya (Gambar 1).



Gambar 1 Komposisi sumber sampah di Indonesia (SIPSN, 2020)

Untuk mengatasi timbulan sampah, Pemerintah melalui Perpres no.97/ tahun 2017 telah menetapkan target nasional tahun 2025 yaitu pengurangan sampah sebesar 20,9 juta ton/ tahun (30%), dan target penanganan sampah sebesar 49,9 juta ton/ tahun (70%). Pengurangan sampah tercepat dapat dilakukan dengan pembakaran, tetapi karena banyak pihak meragukan prosesnya yang diperkirakan akan mencemari lingkungan melalui pencemaran udara, maka Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (KLHK) mengeluarkan Peraturan Menteri No.:

P.70/ Menlhk/ Setjen/ Kum.1/8/2016 tentang Baku Mutu Emisi Usaha Dan/ Atau Kegiatan Pengolahan Sampah Secara Termal. Peraturan ini memberikan Pemerintah wewenang untuk membatasi emisi pada implementasi pengurangan sampah secara termal/ dengan cara membakar. Emisi berbagai polutan gas harus dapat dikendalikan.

Besaran emisi GRK ini menjadi perhatian karena Indonesia telah meratifikasi berbagai Konvensi terkait pengendalian emisi GRK, berawal dari Protokol Kyoto di tahun 1998 sampai Paris

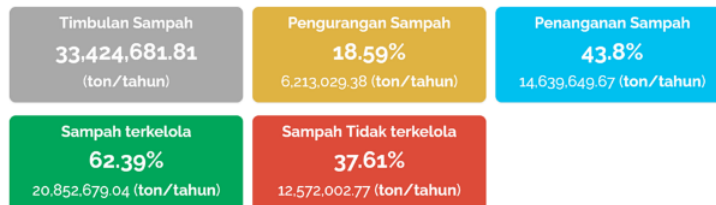
Agreement pada tahun 2015 dan *Conference of the Parties (COP)* ke 26 tentang perubahan iklim. Sebagai *member of parties*, Indonesia secara berkala harus memberikan laporan pencapaiannya yaitu penurunan emisi GRK dari berbagai kegiatan. Apabila hal ini tidak dikontrol, maka kenaikan rata-rata suhu atmosfer akan naik melebihi 1,5 °C seperti disepakati sebagai batas pertambahan suhu maksimum dalam *Paris Agreement*. Maka, diharapkan pembakaran sampah menjadi energi pada PLTSa ini bukan justru menambah emisi GRK.

Memperhatikan dua aspek tersebut, yaitu pengurangan cepat sampah melalui pembakaran menjadi listrik dan pengendalian emisi GRK untuk mencegah pemanasan global, maka tulisan ini dimaksudkan untuk menjelaskan

pentingnya perhitungan emisi GRK dari sistem insinerator/ pembakaran sampah. Tulisan ini akan mengambil kasus *pilot plant* PLTSa Bantargebang, Bekasi. Sehingga dari hasil perhitungan tersebut dapat diketahui peluang dan peran PLTSa dalam pengurangan sampah sementara pemanasan global terkontrol.

a. Pembangkit Listrik Tenaga Sampah (PLTSa)

Tujuan dari pembangunan PLTSa sebenarnya bukan untuk kebutuhan pemenuhan listrik tetapi lebih kepada kebutuhan untuk memusnahkan sampah dengan cepat. Capaian kinerja pengelolaan sampah di Indonesia pada tahun 2020 (di 289 Kab/ Kota) dapat dilihat pada diagram dibawah ini (Gambar 2).



Gambar 2 Kinerja pengelolaan sampah di Indonesia pada tahun 2020

Sebanyak 37,61% sampah setiap tahunnya tidak terolah dan sebanyak 18,59% pengurangan sampah dapat dicapai. Tetapi pengurangan sampah tersebut belum dapat mengimbangi kenaikan timbulan sampah yang cukup tinggi, sehingga diperlukan pengurangan sampah yang cepat. Diharapkan implementasi PLTSa dapat mengatasi sampah yang tidak terkelola tersebut dan dapat mengurangi timbulan sampah setiap tahunnya.

Pada tahun 2019, Pemprov DKI bersama Pusat Teknologi Lingkungan, BPPT membangun *pilot plant* Pembangkit Listrik Tenaga Sampah (PLTSa Merah

Putih) yang dibangun tahun 2019. *Pilot plant* ini merupakan PLTSa pertama di Indonesia yang didesain dengan waktu operasi selama 24 jam per hari dan ± 300 hari per tahun dengan menggunakan bahan bakar sampah berkapasitas 100 ton per hari

Bersamaan dengan dibangunnya PLTSa Merah Putih, Pemerintah melalui KLHK merencanakan melakukan replikasi PLTSa yang kemudian sering disebut Pengolahan Sampah menjadi Energi Listrik (PSEL) karena tujuan utamanya adalah pengurangan sampah dan bukan pembangkitan listrik. Maka, melalui Permen LHK No. P. 24 tahun 2019,

Pemerintah akan memberikan bantuan layanan instalasi PSEL di 12 kota besar di Indonesia (Tabel 1).

b. Mitigasi Perubahan Iklim Sektor Limbah

Mitigasi, adaptasi dan pendanaan perubahan iklim merupakan 3 aspek yang dibahas dan disepakati dalam *Paris Agreement*. Secara singkat dijelaskan sebagai berikut.

Tabel 1 Perkembangan pembangunan PLTSa/ PSEL di 12 Kota di Indonesia

Lokasi	Timbulan (ton)	Lokasi	Timbulan (ton)
Prov. DKI Jakarta	3,054,812.22	Surakarta (Kab. Boyolali, Klaten, Sukoharjo)	368,745.46
Tangerang	592,403.32	Surabaya	811,255.10
Tangerang Selatan	390,753.87	Makasar	363,800.57
Bekasi	649,909.22	Denpasar (Bali)	662,835.79
Bandung	562,034.59	Palembang	426,390.66
Semarang	466,010.79	Manado	121,504.81

Sumber : Kemenko Marves (2021)

Mitigasi khususnya menahan laju peningkatan temperatur global hingga di bawah 2 derajat celcius dari angka sebelum masa Revolusi Industri, dan mencapai upaya dalam membatasi perubahan temperatur hingga setidaknya 1.5 derajat Celcius, karena memahami bahwa pembatasan ini akan secara signifikan mengurangi risiko dan dampak dari perubahan iklim.

Meningkatkan kemampuan untuk beradaptasi terhadap dampak dari perubahan iklim, meningkatkan ketahanan iklim, dan melaksanakan pembangunan yang bersifat rendah emisi gas rumah kaca tanpa mengancam produksi pangan. Membuat aliran finansial yang konsisten demi tercapainya pembangunan yang bersifat rendah emisi gas rumah kaca dan tahan terhadap perubahan iklim.

Dalam rangka menekan emisi GRK dan memenuhi komitmen *Paris Agreement* Pemerintah Indonesia membuat 3 strategi pencapaian Net Zero Emission (LCCR, KLHK, 2021)

1. Current Policy Strategy (CPOS)

- Pengurangan sampah 30% (3R, composting) dan 70% diolah di TPS (dan LFG recovery), pengurangan *open burning* dan pemanfaatan sampah untuk energi
- Penambahan *septic tank* yang dilengkapi biogas dan *sludge recovery*, penggunaan *anaerobic system*
- Pemanfaatan limbah cair/ padat industry untuk produksi energi

2. Transition Strategy (Trns)

Peningkatan mitigasi strategi CPOS dengan:

- Penambahan TPA dan LFG recovery, PLTSa, RDF/SRF, Biodigester sampah, 3R dan pengkomposan.
- Peningkatan penggunaan *septic tank* (50% rumah baru) yang dilengkapi *biogas recovery* atau *system anaerobic, sludge recovery*
- Peningkatan pemanfaatan limbah untuk energi

3. Low Carbon Compatible with Paris Agreement (LCCP)

Peningkatan mitigasi CPOS dan Trsn dengan:

- Penambahan secara signifikan TPA dan *LFG recovery*, PLTSa, RDF/SRF, Biodigester sampah, 3R dan pengkomposan.
- Peningkatan penggunaan *septic tank* (100% rumah baru) yang dilengkapi *biogas recovery* atau *system anaerobic, sludge recovery*
- Memaksimalkan pemanfaatan limbah cair dan limbah padat industri untuk energi

II. STATE OF THE ART TECHNOLOGY

Di Indonesia pengolahan sampah menjadi energi masih dalam tahap awal, sehingga belum ada sistem pembakaran sampah/ insinerator yang sudah dihitung emisi GRK nya.

Di luar negeri, implementasi teknologi termal untuk pengolahan sampah, khususnya menjadi energi telah dilakukan di China di daerah Tianjin dan Xiamen (Wang, Y. et.al., 2015). Dalam dampaknya terhadap perubahan iklim *plant* di kedua wilayah tersebut yang sekitarnya terdapat banyak industri ternyata juga cukup signifikan dalam penurunan emisi GRK nya.

Dua metode, landfill dan insinerator digunakan dalam pengolahan sampahnya. Hasil memperlihatkan bahwa kuantitas rata-rata sampah yang diolah menggunakan insinerator lebih banyak daripada kuantitas rata-rata metode landfill (Tabel 2).

Tabel 2 Perbandingan Penurunan Emisi GRK Di Tianjin Dan Xiamen, China Dengan Dua Metode

	Parameters	Tianjin	Xiamen
Landfill E	Total amount of MSW treatment (Mt)	6.6	5.5
	Secondary energy recovery Calculation period (yr)	Electricity	Electricity
Incineration E	Total amount of MSW treatment (Mt)	10	4
	Secondary energy recovery Calculation period (yr)	Electricit, heat	Electricity

Sumber: Wang, Y., et.al. (2015)

Dari data tersebut di atas, penurunan emisi GRK yang dicapai dapat dilihat pada Tabel 3 berikut.

Tabel 3 Perbandingan Penurunan Emisi GRK Di Tianjin Dan Xiamen, China Dengan Dua Metode

	Tianjin	Xiamen
Waste (Mt)	16.6	9.5
Landfill E (t CO ₂ -eq/t)	0.864	1.058
Incineration E (t CO ₂ -eq/t)	0.769	0.942

Dalam kasus di China ini, ternyata proses landfill dan insinerasi sampah menurunkan emisi dengan nilai yang hampir sama. Pengolahan sampah tersebut rata-rata dapat menghasilkan energi listrik sebesar 318–390 kWh/t sampah

III. METODE

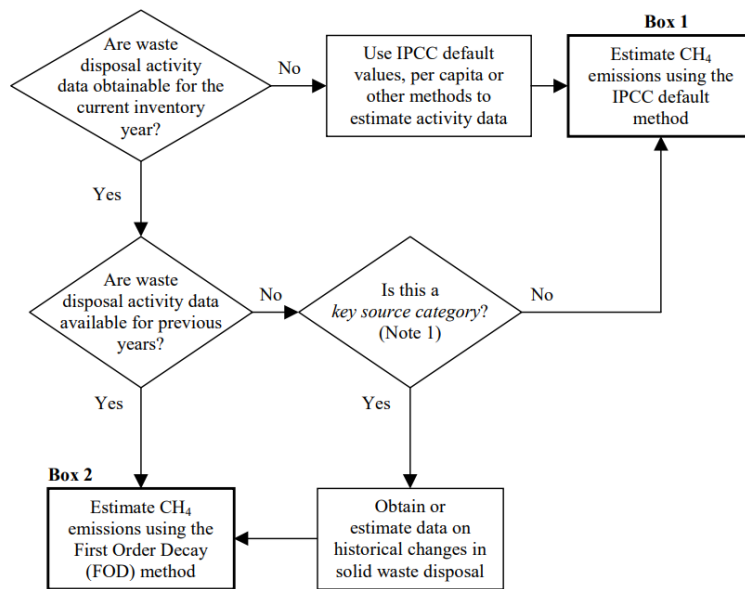
a. Metodologi Riset

Penelitian ini dilakukan menggunakan metode deskriptif kuantitatif, yaitu dengan pengambilan data pembakaran sampah di insinerator. Kemudian dari data tersebut dilakukan perhitungan emisi GRK nya di mana dari nilai yang diperoleh dapat diketahui emisi yang dikeluarkan dari insinerator dan kinerja insineratornya.

b. Metode Perhitungan

Perhitungan emisi GRK di PLTSa yang dilakukan menggunakan metode IPCC TIER 1 untuk waste (limbah) dan mengikuti *flow chart*, *Box 1* di bawah ini (Gambar 3).

Metode tersebut menghitung emisi CH₄ dari sampah padat yang dibakar menggunakan metode *default* (dasar) tanpa memperhitungkan *First Order Decay* (FOD) sampah.



Gambar 3 Flow chart perhitungan emisi sampah (IPCC, 2015)

Persamaan yang digunakan dalam perhitungan emisi sejumlah sampah yang dibakar dalam insinerasi (IPCC, Tier 1) adalah persamaan 1a, 1b

dan 1c di bawah ini. Di dalam perhitungan tersebut komposisi sampah menentukan potensi pemanasan globalnya (GWP).

$$\text{CH}_4 \text{ emissions (Gg/yr)} = [(\text{MSW}_T \cdot \text{MSW}_F \cdot L_0) - R] \cdot (1 - \text{OX}) \dots\dots\dots(1a)$$

Dalam persamaan di atas, L₀ dihitung menggunakan persamaan 1b berikut ini.

$$L_0 = \text{Methane generation potential} [\text{MCF} \cdot \text{DOC} \cdot \text{DOC}_F \cdot F \cdot 16 / 12 \text{ (Gg CH}_4\text{/Gg waste)}] \dots\dots\dots(1b)$$

Sedangkan DOC dihitung menggunakan persamaan 1c sebagai berikut.

$$\text{DOC} = (0.4 \cdot A) + (0.17 \cdot B) + (0.15 \cdot C) + (0.3 \cdot D) \dots\dots\dots(1c)$$

Dalam Persamaan 1a, 1b dan 1c,
 MSW_T = banyaknya timbunan sampah (sampah yang akan dibakar)
 MSW_F = bagian dari MSW (yang akan dibakar = 1)
 L_0 = potensi emisi metan
 MCF = faktor koreksi metan
 DOC = fraksi karbon organik terdegradasi
 DOC_F = fraksi karbon organik disimilasi
 F = fraksi volume CH_4 dalam gas landfill
 R = CH_4 yang diperoleh
 OX = faktor oksidasi dari fraksi

Dimana dalam persamaan tersebut,
 $PE_{FC,t,y}$ = emisi dari bahan bakar yang digunakan
 $FC_{i,t,y}$ = berat bahan bakar yang digunakan
 $NCV_{i,y}$ = rata-rata tertimbang nilai kalor bersih jenis bahan bakar pada tahun y
 $EF_{CO2,i,y}$ = faktor emisi bahan bakar diesel

c. Data

Untuk menghitung emisi insinerator PLTSa diperlukan beberapa data, diantaranya: 1) Data komposisi sampah yang akan diperhitungkan emisinya, 2) Penetapan *boundary system* (khusus hanya pada sinsinerator), 3) Data operasional PLTSa tahun 2020, yang terdiri dari :

- berat sampah yang dibakar,
- jenis serta jumlah bahan bakar yang digunakan,
- listrik yang dihasilkan
- Jumlah hari operasional (Februari – Desember, 2020, diasumsikan selama 330 hari).

Dari *boundary system* yang ditetapkan, pada saat pembakaran sampah digunakan listrik (dari jaringan listrik nasional) dan diesel sebagai bahan bakar. Pada saat digunakan, bahan bakar tersebut mengeluarkan emisi yang dapat dihitung menggunakan persamaan-persamaan berikut.

Emisi dari listrik yang digunakan, dihitung menggunakan persamaan 2 berikut ini.

$$PE_{EC,y} = EC_{PJ,y} \cdot EF_{grid,y} \cdot (1 + TDL_y) \dots\dots\dots(2)$$

Dimana dalam persamaan tersebut,
 $PE_{EC,y}$ = emisi dari listrik yang digunakan
 $EC_{PJ,y}$ = jumlah listrik yang digunakan
 $EF_{grid,y}$ = faktor emisi dari jaringan listrik
 TDL_y = rata-rata transmisi teknis dan kehilangan distribusi saat digunakan

Sedangkan emisi dari bahan bakar diesel dihitung menggunakan persamaan 3.

$$PE_{FC,t,y} = \sum_i FC_{i,t,y} \cdot NCV_{i,y} \cdot EF_{CO2,i,y} \dots\dots\dots(3)$$

1) Data komposisi sampah disini menggunakan data dari DKI seperti dilihat pada Tabel 4 berikut ini.

Tabel 4. Komposisi sampah DKI

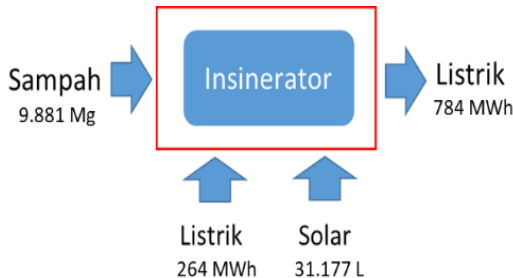
Komposisi	Jumlah
Sisa Makanan	55.89 %
Kayu Ranting Daun	4.98 %
Kertas	20.56 %
Plastik	1.89 %
Logam	1.89 %
Kain Tekstil	2.50 %
Karet Kulit	1.57 %

Kaca	2.50 %
Lainnya	8.90 %

Sumber :SIPSN (2018)

2) Boundary system

Penetapan lingkup perhitungan emisi GRK (*boundary system*) dalam hal ini dibatasi hanya pada insineratornya saja (Gambar 4).



Gambar 4 *Boundary system* perhitungan emisi GRK

3) Data operasional PLTSa tahun 2020 (Februari-Desember 2020, 330 hari) diperoleh sebagai berikut :

- Sampah yang dibakar 9.881 ton = 9.881 Mg
- Jumlah energi listrik yang dihasilkan 784 MWh (79,3 kWh/ ton sampah)
- Jumlah konsumsi solar 31.177 liter (dari penggunaan burner dan diesel genset untuk proses *start up*)
- Listrik PLN yang digunakan untuk operasional (Mei - Desember) 192 MWh. Jadi untuk penggunaan Februari – Desember dilakukan ekstrapolasi perkiraan penggunaan sebesar 264 MWh.

IV. PERHITUNGAN DAN PEMBAHASAN

a. Perhitungan

- Dari perhitungan menggunakan persamaan 1a, 1b dan 1c, diperoleh prakiraan/ potensi emisi dari sampah

(yang dapat diturunkan) adalah sebesar 24.758,904 ton CO₂ eq.

- Listrik yang dihasilkan dari pembakaran sampah adalah sebesar 784 MWh dan dengan faktor emisi 0,87 (Jamali, 2020), maka akan diperoleh penurunan emisi sebesar 682,08 ton CO₂ eq (listriknya dimanfaatkan).
- Penggunaan listrik dari grid untuk pembakaran sampah adalah sebesar 264 MWh, jadi emisinya adalah sebesar 229,68 ton CO₂ eq dan emisi bahan bakar yang digunakan adalah sebesar 74,196 ton CO₂ eq (dari 31.177 Lt diesel)

Sehingga, hasil dari pembakaran sampah di insinerator menghasilkan emisi sebesar

$$\begin{aligned}
 &= \text{Pengurangan emisi sampah yang dibakar dan emisi listrik yang dimanfaatkan} - \text{penambahan emisi listrik dan bahan bakar yang digunakan} \\
 &= - (24.758,904 + 682,080) + (229,680 + 74,196) \text{ ton CO}_2 \text{ eq} \\
 &= - 25.137,11 \text{ ton CO}_2 \text{ eq}
 \end{aligned}$$

Jadi dapat disimpulkan bahwa sistem insinerasi di PLTSa Bantargebang dapat menurunkan emisi GRK sebesar 25.137,11 ton CO₂ eq atau dengan efisiensi sebesar 98,8%.

b. Pembahasan

Hasil perhitungan penurunan emisi GRK dari pilot plant PLTSa Bantargebang sebesar 25.137,11 ton CO₂ eq ini membuktikan bahwa pengurangan sampah secara termal cukup berhasil dan dapat menurunkan emisi GRK. Maka, metode ini mempunyai peluang besar untuk dapat ditingkatkan kapasitasnya dan direplikasikan di 12 kota lain di Indonesia yang menghasilkan sampah dalam jumlah besar, sebagaimana ditetapkan pada Permen LHK No. P. 24 tahun 2019.

Hal tersebut di atas sesuai dengan rencana Pemerintah yang didokumentasikan dalam Dokumen Negara *Long Term Strategy of Low Carbon and Climate Resilience* (LTS LCCR).

Khusus untuk mitigasi emisi melalui pengurangan sampah, Pemerintah mempunyai 3 skenario, seperti telah disampaikan di atas.

1. *Current Policy Strategy* (CPOS) atau Business as Usual (BAU)
Aktifitas pada scenario ini adalah Pengurangan sampah 30% (3R, composting) dan 70% diolah di TPS (dan LFG recovery), pengurangan *open burning* dan pemanfaatan sampah untuk energi
2. *Transition Strategy* (Trns)
Peningkatan dari mitigasi strategi CPOS (no.1) dengan penambahan TPA dan LFG recovery, PLTSa, RDF/SRF, Biodigester sampah, 3R dan pengkomposan.
3. *Low Carbon Compatible with Paris Agreement* (LCCP).
Peningkatan dari mitigasi CPOS dan Trsn (no.2) dengan: penambahan secara signifikan TPA dan *LFG recovery*, PLTSa, RDF/SRF, Biodigester sampah, 3R dan pengkomposan.

Tiga skenario tersebut dibuat berdasarkan kesiapan berbagai aspek dan salah satunya adalah ketersediaan pendanaan. Kesiapan berbagai aspek untuk memenuhi target-target skenario 3 (LCCP) bersama target sektor lainnya, dapat membawa Indonesia mencapai *net zero emissions* (NZE) pada tahun 2050 sesuai target *Paris Agreement*. Sedangkan dua skenario lainnya akan mencapai Indonesia NZE pada tahun 2060 (skenario 2) dan pada tahun 2070 (scenario 1).

V. KESIMPULAN DAN REKOMENDASI

a. Kesimpulan

Pembakaran sampah menggunakan insinerator secara signifikan dapat menurunkan emisi GRK. *Pilot plant* PLTSa Bantargebang khususnya pada bagian pembakarannya dapat menurunkan emisi GRK sebesar 25.137,110 ton CO₂ eq. Hal itu dicapai dengan kapasitas PLTSa 30% dari kapasitas yang direncanakan, yaitu 100 ton/ hari. Maka, untuk mengendalikan sampah yang lebih banyak lagi diperlukan kapasitas pengolahan sampah termal yang lebih besar.

Pembakaran sampah menjadi energi listrik merupakan salah satu cara cepat dan sangat berperan untuk menanggulangi timbulan sampah. Penggunaan teknologi yang tepat dapat diupayakan agar tidak terjadi pencemaran lingkungan dan gangguan kesehatan masyarakat akibat pembakaran sampah.

b. Rekomendasi

- Optimasi proses termal di PLTSa Bantargebang perlu dilakukan untuk mendapatkan data yang dapat dipercaya/ *repeatable*. Hal ini mengingat data yang digunakan kali ini merupakan data tahun pertama PLTSa beroperasi setelah selesai dibangun pada tahun 2019.
- Replikasi metode termal untuk pengurangan sampah di kota lain perlu segera diwujudkan untuk membantu Indonesia mencapai NZE lebih cepat
- Replikasi PLTSa di mana akan dibangun perlu dilakukan adaptasi dan sinkronisasi dengan program pengelolaan sampah lainnya untuk menjaga ketersediaan sampah sebagai bahan utama.

DAFTAR PUSTAKA

- Good Practice Guidance and Uncertainty Management in National Greenhouse Gas Inventories, IPCC, 2000.
- Indonesia Long-Term Strategy for Low Carbon and Climate Resilience (LCCR) 2050, KLHK, 2021. (<https://www.appi.or.id/public/images/img/27e6305e-54ce-4369-9a67-3f31d21338e7.pdf>)
- Masripatin, N. (Ed.), Strategi Implementasi NDC (*Nationally Determined Contribution*), Ditjen. Pengendalian Perubahan Iklim, KLHK, Jakarta, Oktober 2017.
- Sistem Informasi Pengelolaan Sampah Nasional, (<https://sipsn.menlhk.go.id/sipsn/>)
- Wang, Y. et al. (2015), 'Effective Approaches to Reduce Greenhouse Gas Emissions from Waste to Energy Process: A China study', *Resources, Conservation and Recycling*, 104 (2018), pp. 103–108. doi: 10.1016/J.Resconrec. 2015.09.002.