

Analisis Perbandingan Emisi Gas Rumah Kaca dan Potensi Energi Listrik Antara Insinerasi dan Proses Biologi

(Studi Kasus Pembangkit Listrik Tenaga Sampah Merah Putih)

Rani Mulia Bakti^{*1}, Ibnu Susanto Joyosemito², Sophia Shanti Meilani³

Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik, Universitas Bhayangkara Jakarta Raya, Jl. Perjuangan Raya, Marga Mulya, Bekasi Utara, Jawa Barat, 17143. Telp/fax. (021) 88955871, Indonesia

e-mail: ^{*1} rani.mulia.bakti19@mhs.ubharajaya.ac.id, ²ibnu.susanto@dsn.ubharajaya.ac.id,

³sophia.shanti@dsn.ubharajaya.ac.id

Abstract

Solid waste disposal is one of the contributing sectors to greenhouse gas (GHG) emissions. Open burning of waste generates CO₂, anaerobic decomposition of organic waste generates CH₄, while composting activities and biological processes generate CO₂, CH₄, and N₂O. Transportation to waste disposal facilities contributes to GHG emission as well. The aim of this study is to compare GHG emission and electrical energy generated from incineration and biological process. Calculation of estimated GHG emission in this study used the IPCC Tier 2 method with a combination of default data and local data such as data on the composition of waste for incineration compared to biological processes. The result indicated that incineration generated lower GHG emission compared to biological process. Higher electrical energy potential can be obtained from biological process, if most of CH₄ is converted to electrical energy. PLTSA Merah Putih, which applied energy recovery from incineration, simultaneously convert heat to electrical energy and reduce GHG problem from CH₄.

Keywords : : Greenhouse Gas Emissions, Incineration Processes, Electrical Energy

Abstrak

Sektor persampahan menjadi salah satu sektor penyumbang emisi gas rumah kaca (GRK). Pembakaran terbuka menghasilkan gas CO₂, dekomposisi anaerobik sampah organik menghasilkan CH₄, sedangkan kegiatan pengomposan dan proses biologi menghasilkan CO₂, CH₄, dan N₂O. Pengangkutan sampah ke

fasilitas pembuangan juga berkontribusi terhadap GRK. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk membandingkan emisi GRK dan energi listrik yang dihasilkan dari insinerasi dan proses biologi. Perhitungan data estimasi emisi GRK dapat menggunakan metode IPCC Tier 2 dengan kombinasi antara data default dan data lokal seperti data komposisi sampah yang diolah dengan insinerasi pembakaran dibandingkan dengan proses biologi. Hasil estimasi menunjukkan bahwa proses insinerasi mengemisikan GRK lebih rendah daripada proses biologi. Potensi energi listrik yang lebih tinggi bisa didapatkan dari proses biologi jika sebagian besar CH₄ yang dihasilkan dapat dikonversi menjadi energi listrik. PLTSA Merah Putih, yang menerapkan pemulihan energi dari insinerasi, menghasilkan energi listrik dan mengurangi permasalahan GRK dari CH₄.

Kata Kunci: Emisi Gas Rumah Kaca, Proses Insinerasi, Energi Listrik

PENDAHULUAN

Pemanasan global menggambarkan kenaikan suhu rata-rata dipermukaan bumi yang sebagian besar disebabkan oleh meningkatnya Gas Rumah Kaca (GRK) dari aktivitas manusia. Fenomena ini dapat menyebabkan perubahan iklim global, sehingga memberikan efek lanjutan berupa kenaikan suhu bumi yang kian meningkat. Emisi GRK merupakan faktor mampu menyebabkan terjadinya pemanasan global. Menurut *Intergovernmental Panel of Climate Change* (IPCC), gas-gas utama yang dikategorikan sebagai GRK dan mempunyai

potensi penyebab terjadinya pemanasan global adalah karbon dioksida (CO₂), metana (CH₄), dan dinitrogen oksida (N₂O) (IPCC, 2006a).

Sektor persampahan menjadi salah satu sektor penyumbang emisi GRK seperti CO₂ yang berasal dari pembakaran terbuka (*open burning*) sampah, CH₄ dari pembusukan sampah organik, dan N₂O berasal dari kegiatan pengomposan dengan proses biologis maupun dari segi penggunaan transportasi pengangkutan sampah. Permasalahan yang timbul akibat sektor persampahan adalah sampah yang masuk ke Tempat Pembuangan Akhir (TPA) namun tidak ada pengolahan yang memadai. Dari adanya permasalahan tersebut, teretuskan inisiasi dalam memberikan inovasi reduksi sampah. Implementasi dari inovasi pengelolaan sampah untuk mengatasi sejumlah permasalahan sampah diwujudkan pada *pilot project* Pembangkit Listrik Tenaga Sampah (PLTSA) Merah Putih di Bantargebang.

PLTSA dihadirkan untuk menjadi solusi pengelolaan sampah yang mampu mereduksi berat (hingga 75%), volume (hingga 90%) dan tingkat bahayanya (lebih stabil) (Dai, 2016). Di sisi lainnya, teknologi pengolahan sampah dengan insinerasi juga dapat menimbulkan berbagai dampak negatif terhadap lingkungan, salah satunya adalah volume gas buang emisi yang besar ke udara akibat kegiatan operasionalnya. Dengan adanya dampak tersebut, polemik mengenai efektivitas pengelolaan sampah dengan melakukan pembakaran apakah mampu menjadi solusi yang sesuai untuk mereduksi timbulan sampah tanpa mencemari lingkungan.

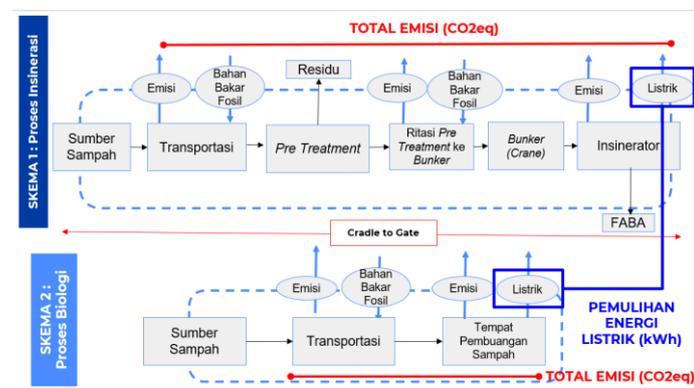
Emisi GRK ini menjadi perhatian karena Indonesia telah meratifikasi berbagai konvensi terkait pengendalian emisi GRK, berawal dari Protokol Kyoto di tahun 1998 sampai *Paris Agreement* pada tahun 2015 dan *Conference of the Parties (COP) ke 26* tentang perubahan iklim. Sebagai *member of parties*, Indonesia 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* (Sitomurni, et al, 2021).

Pelaksanaan kegiatan operasional PLTSA tidak terlepas dari emisi yang dihasilkan akan

berpotensi menyumbang jejak karbon. Emisi tersebut berasal dari pengangkutan sampah dan proses insinerasi. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengestimasi emisi dan energi listrik yang dihasilkan dari metode pengolahan sampah dengan insinerasi dan proses biologi. Selain itu, penelitian ini juga bertujuan untuk membandingkan emisi dan energi listrik yang dihasilkan melalui kedua proses tersebut.

METODE PENELITIAN

Penetapan lingkup perhitungan emisi dalam penelitian ini dibatasi pada *cradle to gate* yang dapat dilihat pada Gambar 1. *Boundary system* dibuat berdasarkan dengan *Material Flow Accounting (MFA)* yang merupakan penilaian secara sistematis aliran (*flow*) dan stok (*stock*) dan bahan/material dalam suatu sistem yang didefinisikan dalam satuan waktu. MFA menghubungkan sumber daya, jalur, dan tempat penampungan sementara dan akhir dari material. MFA memiliki konsep terhadap hukum kekekalan massa sehingga dapat dikontrol oleh keseimbangan material sederhana dengan membandingkan semua *input*, *stock*, dan *output* dari suatu proses.



Gambar 1 *Boundary System*

Metode yang digunakan dalam penelitian ini dengan melakukan perhitungan data menggunakan metode IPCC 2006 *Tier 2*. Perhitungan didasarkan pada penggunaan transportasi pengangkutan sampah (truk), pembakaran sampah, dan potensi pembentukan CH₄ dari TPA. Data yang diperlukan pada penelitian ini dibagi menjadi data primer dan data sekunder. Data primer terdiri dari wilayah sumber sampah, jarak tempuh, kategori sampah yang dapat memasuki PLTSA, tonase

sampah, dan transportasi pengangkut sampah. Data sekunder terdiri dari jurnal, pedoman inventarisasi gas rumah kaca, metodologi perhitungan gas rumah kaca, dan estimasi bahan bakar minyak dari truk pengangkut sampah.

Pemanfaatan CH₄ menjadi Energi Listrik

Menurut (Carolyn & Wibawanti, 2019), pengelolaan sampah merupakan salah satu aksi mitigasi yang berpotensi menurunkan emisi GRK dibandingkan jika sampah tersebut dibiarkan begitu saja. GRK dari pengelolaan sampah di suatu wilayah (kota/ kabupaten) dihasilkan dari TPA yang menjadi titik akhir pengelolaan sampah. Dengan demikian aksi mitigasi yang dapat dilakukan sehubungan dengan emisi GRK dari TPA sampah menjadi sangat penting. Emisi CH₄ di TPA dihasilkan dari proses dekomposisi komponen sampah yang *biodegradable* dalam kondisi anaerobik. Dalam lingkungan TPA, emisi dari *Landfill Gas* (LFG) dapat dimanfaatkan sebagai pembangkit listrik (PLT_{Sa}). Emisi CH₄ hanya terbentuk dari sampah yang berupa sampah organik. Sampah yang menumpuk dalam kurun waktu tertentu akan menghasilkan emisi CH₄.

Di Indonesia, pengelolaan LFG dari sanitary landfill dilakukan pada TPST Bantargebang di Kabupaten Bekasi. Pada awalnya, LFG yang dihasilkan di TPST Bantargebang hanya diambil dan dikumpulkan, lalu dibakar menjadi karbon monoksida (CO) yang kemudian dilepaskan ke atmosfer, dampak yang dihasilkan oleh CO lebih rendah dari LFG TPST Bantargebang yang masih murni. Setelah dilakukan beberapa penelitian dan perkembangan teknologi, ternyata diketahui bahwa gas CH₄ yang terkandung pada LFG dapat dimanfaatkan sebagai bahan bakar untuk menjalankan mesin generator yang dapat menghasilkan listrik. Mengenai pemanfaatan CH₄ menjadi energi listrik dapat dikonversikan berdasarkan **Tabel 1**.

Tabel 1 Konversi Energi Gas CH₄ menjadi Energi Listrik

| Jenis Energi | Setara Energi |
|--------------------------|------------------------------|
| 1 kg gas CH ₄ | 6,13 × 10 ⁷ Joule |
| 1 kWh | 3,6 × 10 ⁶ Joule |

Sumber : (Sorensen, 2007)

Perhitungan Emisi GRK berdasarkan Mobile Combustion

Berdasarkan (IPCC, 2006b) menjelaskan bahwa *mobile combustion* pada transportasi menghasilkan gas rumah kaca berupa CO₂, CH₄, dan N₂O dari pembakaran berbagai jenis bahan bakar. Data aktivitas yang digunakan untuk mengestimasi emisi berasal dari data jumlah unit kendaraan, jarak tempuh kendaraan, dan konsumsi bahan bakar yang digunakan pada kendaraan seperti pada **persamaan 1 dan 2**.

$$Estimated\ Fuel = \sum_{i,j,t} (Vehicles_{i,j,t} \times Distance_{i,j,t} \times Consumption_{i,j,t}) \quad (1)$$

$$Emission = \sum_a [Fuel_a \times EF_a] \quad (2)$$

Keterangan :

Emission = emisi dari CO₂, CH₄, dan N₂O (kg)

Fuel_a = bahan bakar yang dihabiskan (TJ)

EF_a = faktor emisi (kg/TJ) (berdasarkan IPCC 2006, *diesel oil/solar*)

a = tipe bahan bakar (*diesel oil/solar*)

Perhitungan Emisi GRK berdasarkan Solid Waste Disposal Site (SWDS)

Perhitungan untuk mengetahui emisi yang dihasilkan dari proses biologi di TPA dimulai dari jumlah tonase sampah yang memasuki *site* kemudian dihitung persentase komposisi sampah sebelum pada akhirnya dilakukan perhitungan berdasarkan *IPCC 2006 Volume 5 Chapter 3 Solid Waste Disposal* (IPCC, 2006c) seperti pada **persamaan 3**.

$$CH_4\ Emissions = \left[\sum_x CH_4\ generated_{x,T} - R_T \right] \cdot (1 - OX_T) \quad (3)$$

Keterangan :

CH₄ Emissions = emisi CH₄ pada tahun T (Gg)

T = tahun inventarisasi

x = tipe atau jenis limbah

R_T = CH₄ yang di-*recovery* untuk dimanfaatkan atau di-*flare* pada tahun T (Gg)

OX_T = faktor oksidasi pada tahun T (*fraction*)

Perhitungan Emisi GRK berdasarkan Insinerator

Berdasarkan (IPCC, 2006d) insinerasi limbah didefinisikan sebagai pembakaran limbah padat dan cair dalam fasilitas insinerasi yang terkontrol. Jenis sampah yang diinsinerasi di antaranya *Municipal Solid Waste* (MSW), limbah industri, limbah berbahaya, limbah klinis, dan limbah lumpur. Perhitungan untuk mengestimasi besaran emisi yang dihasilkan dari proses insinerasi dijelaskan pada **persamaan 4**.

$$CO_2 \text{ Emissions} = MSW \times \sum_j (WF_j \times dm_j \times CF_j \times FCF_j \times OF_j) \times \frac{44}{12} \quad (4)$$

Keterangan :

$CO_2 \text{ Emissions}$ = emisi CO_2 pada tahun inventarisasi (Gg/yr)

MSW = jumlah berat basah sampah domestik padat dari jenis komponen j

WF_j = fraksi dari jenis komponen j di

MSW (Gg/yr) ($WF = 1$)

dm_j = kandungan zat kering dalam komponen j pada MSW pembakaran terbuka (*fraction*)

CF_j = fraksi karbon dalam bahan kering pada komponen j (*total carbon content*) (*fraction*)

FCF_j = fraksi fosil karbon dalam total karbon pada komponen j (*fraction*)

OF_j = faktor oksidasi (*fraction*)

44/12 = faktor konversi dari C ke CO_2

j = komponen dari pembakaran atau insinerasi dari MSW diantaranya kertas, tekstil, sampah makanan, kayu, sampah taman dan kebun, popok, karet dan kulit, plastik, logam, kaca, dan sampah lainnya

Global Warming Potential (GWP)

Global Warming Potential (GWP) adalah indeks yang mengukur seberapa banyak panas (gaya radiasi) yang akan terperangkap oleh satu unit GRK di atmosfer selama periode waktu tertentu apabila dibandingkan dengan jumlah CO_2 yang akan terperangkap dalam jumlah yang sama. Adapun emisi GRK yang bukan CO_2 , ketika diukur dengan menggunakan GWP maka disebut sebagai CO_2 equivalent (CO_2eq) atau emisi yang setara dengan CO_2 . Semakin besar GWP, semakin banyak gas yang menghangatkan bumi selama periode waktu tertentu. Periode waktu yang

digunakan biasanya adalah umur hidup GRK selama 100 tahun di atmosfer (*United States Environmental Protection Agency, 2022*). Adapun nilai GWP yang tersedia *IPCC Chapter 7 The Earth's Energy Budget, Climate Feedbacks and Climate Sensitivity Supplementary Material* dapat dilihat pada **Tabel 2**.

Tabel 2 *Global Warming Potential* (GWP)

| Name | Formula | GWP-100 |
|-----------------------|---------|---------|
| <i>Carbon Dioxide</i> | CO_2 | 1 |
| <i>Methane</i> | CH_4 | 27,9 |
| <i>Nitrous Oxide</i> | N_2O | 273 |

Sumber : (IPCC, 2021)

HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian ini berlokasi di PLTSA Merah Putih berlokasi di RT.002/RW.005, Ciketing Udik, Kecamatan Bantargebang, Kota Bekasi, Jawa Barat 1715. Letaknya masih satu area dengan Tempat Pengolahan Sampah Terpadu (TPST) Bantargebang dibawah naungan Pemerintah Provinsi DKI Jakarta.

Penelitian ini menggunakan data konsumsi bahan bakar kendaraan dan timbulan sampah di wilayah DKI Jakarta yang akan masuk ke PLTSA Merah Putih. Hasil penelitian menunjukkan bahwa PLTSA Merah Putih mampu mengolah 100 ton sampah per hari dan menghasilkan energi listrik sebesar 700 kWh.

Komposisi Sampah yang Masuk ke PLTSA Merah Putih

Sampah yang masuk ke PLTSA didahului dengan pemilahan yang dilakukan pada *pre-treatment* sebelum akhirnya didistribusikan ke *bunker* kemudian diangkut oleh *crane* agar dapat diumpun ke *hopper* untuk bisa memasuki tungku pembakaran (*furnace*). Pengukuran komposisi sampah dilakukan berdasarkan SNI 19-3964-1994 dengan penggolongan sampah berupa sisa-sisa makanan (organik), kertas-karton, kayu, kain-tekstil, karet-kulit, plastik, logam besi-non besi, kaca, dan lain-lain. Pengukuran dilakukan selama 8 hari berturut-turut, hasilnya dapat dilihat pada **Tabel 3**. Berdasarkan hasil pengukuran sampah tersebut diperoleh rata-rata timbulan sampah sebesar 102,318 ton/hari. Komposisi sampah yang masuk ke *furnace* dijelaskan pada **Tabel 4**.

Tabel 3 Tonase Sampah Harian PLTSa Merah Putih

| Hari ke- | Jumlah Sampah yang Masuk ke Furnace (ton) |
|------------------|---|
| 1 | 102,000 |
| 2 | 103,570 |
| 3 | 101,960 |
| 4 | 102,500 |
| 5 | 102,760 |
| 6 | 101,240 |
| 7 | 103,780 |
| 8 | 100,730 |
| Total | 818,540 |
| Rata-Rata | 102,318 |

Tabel 4 Komposisi Sampah PLTSa Merah Putih

| Jenis Sampah | Berat Sampah (ton/hari) | Berat Sampah (ton/tahun) | Berat Sampah (Gg/tahun) |
|----------------|-------------------------|--------------------------|-------------------------|
| Sampah Organik | 16,37 | 5975,37 | 5,98 |
| Kertas | 31,72 | 11577,28 | 11,58 |
| Tekstil | 12,28 | 4481,53 | 4,48 |
| Karet/Kulit | 2,05 | 746,92 | 0,75 |
| Plastik | 31,72 | 11577,28 | 11,58 |
| Logam | 1,02 | 373,46 | 0,37 |
| Kaca | 2,05 | 746,92 | 0,75 |
| Lain-lain | 5,12 | 1867,30 | 1,87 |

Pengangkutan Sampah dari Sumber

Sumber sampah yang masuk ke PLTSa berasal dari wilayah yang berbeda-beda di DKI Jakarta. Perbedaan jarak tempuh dan konsumsi bahan bakar yang digunakan menjadi variasi perhitungan emisi pada penelitian ini. Menurut (Nasri, MFA, 2015) dijelaskan bahwa untuk bus dan truk konsumsi bahan bakar didasarkan *Gross Vehicle Weight* (GVW), sebagaimana ditampilkan pada **Tabel 5**. Estimasi kategori kendaraan berdasarkan GVW pada penelitian ini diasumsikan pada berat truk keluar setelah dari jembatan timbang.

Tabel 5 Konsumsi Bahan Bakar Kendaraan

| Kategori Kendaraan | Konsumsi BBM (km/l) | Konsumsi BBM (l/km) |
|----------------------|---------------------|---------------------|
| Truk GVW 5 - 10 TON | 3,4 | 0,294 |
| Truk GVW 10 - 24 TON | 2,7 | 0,370 |

Sumber : (Nasri, MFA, 2015)

Tabel 6 Rata-Rata Estimasi CO₂eq Pengangkutan Sampah dari Sumber (Gg/tahun)

| Default | Lower | Upper |
|---------|-------|-------|
| 0,80 | 0,77 | 0,83 |

Berdasarkan **Tabel 6**, secara aktual transportasi sampah memiliki kontribusi dalam menyumbang emisi dari aktivitas PLTSa. Kuantitas sampah dari sumber ke PLTSa tidak selalu sama setiap harinya, demikian juga jumlah unit kendaraan yang digunakan, dan komposisi sampah yang dapat memasuki PLTSa. Perbedaan jarak tempuh, jumlah unit, dan penggunaan bahan bakar sangat berpengaruh dalam perhitungan emisi.

Pengangkutan Sampah dari *Pre Treatment* ke *Bunker*

Pendistribusian sampah hasil pilahan dari *pre treatment* menggunakan truk berukuran sedang yang mampu membawa timbulan sampah sebanyak 7 ton (data berdasarkan rentang waktu 28 Januari 2023 hingga 4 Februari 2023), sesuai dengan kebutuhan sampah di bunker. Jarak antara *pre treatment* dengan *bunker* adalah 54,17 m atau setara dengan 0,054 km berdasarkan pada estimasi jarak di Gambar 2.



Gambar 2 Jarak Tempuh dari *Pre Treatment* ke *Bunker*

Sumber : *Google Earth*

Bahan bakar yang digunakan oleh truk berupa solar dengan kebutuhan bahan bakar sebesar 0,016 liter. Total emisi CO₂ ekuivalen berdasarkan konsumsi bahan bakar tersebut ditunjukkan pada Tabel 7.

Tabel 7 Total Emisi CO₂ ekuivalen Pengangkutan Sampah dari *Pre Treatment* ke *Bunker* (Gg/tahun)

| <i>Default</i> | <i>Lower</i> | <i>Upper</i> |
|----------------|--------------|--------------|
| 0,0022 | 0,0021 | 0,0023 |

Pembakaran Sampah dengan Insinerator

Perhitungan emisi CO₂ dari proses insinerasi berdasarkan komposisi sampah yang memasuki PLTSa dapat dilihat pada Tabel 8.

Tabel 8 Emisi CO₂eq Pembakaran Sampah dari Insinerator (Gg/tahun)

| <i>Lower</i> | <i>Default</i> | <i>Upper</i> |
|--------------|----------------|--------------|
| 57,61 | 58,42 | 59,17 |

Emisi Total Pengolahan Sampah dengan Insinerator

Emisi total yang dihasilkan dari pengolahan sampah dengan insinerator didapatkan dari penjumlahan seluruh sumber emisi, yaitu pengangkutan sampah dari sumber ke lokasi PLTSa, pengangkutan dari *pre-treatment* ke *bunker*, dan proses pembakaran sampah. Emisi total pengolahan sampah dengan insinerator dapat dilihat pada Tabel 9.

Tabel 9 Emisi CO₂eq Pengolahan Sampah dengan Insinerator (Gg/tahun)

| <i>Lower</i> | <i>Default</i> | <i>Upper</i> |
|--------------|----------------|--------------|
| 58,38 | 59,22 | 60 |

Estimasi Potensi Emisi CH₄ dari Proses Biologi berdasarkan Komposisi Sampah PLTSa Merah Putih

Perhitungan estimasi emisi CH₄ dari proses biologi dilakukan dengan menggunakan data komposisi sampah pada Tabel 4. Persamaan dalam perhitungan berdasarkan dari IPCC 2006 *Volume 5 Chapter 3 Solid Waste Disposal Site* dan diperoleh net emisi seperti pada Tabel 10.

Tabel 10 Net Emisi CH₄ di Proses Biologi

| <i>Lower</i> | <i>Default</i> | <i>Upper</i> |
|--------------|----------------|--------------|
| 2,16 | 2,19 | 2,22 |

Hasil emisi CH₄ yang diperoleh di atas digunakan untuk menghitung CO₂eq sehingga diperoleh estimasi emisi CO₂eq sebagaimana ditampilkan pada Tabel 11.

Tabel 11 Emisi CO₂eq dari Proses Biologi (Gg/tahun)

| <i>Lower</i> | <i>Default</i> | <i>Upper</i> |
|--------------|----------------|--------------|
| 60,26 | 61,10 | 62 |

Total Estimasi Energi Listrik dari Pemanfaatan CH₄ Berdasarkan Komposisi Sampah PLTSa Merah Putih

Perhitungan estimasi energi listrik dilakukan dengan cara mengkonversi net emisi CH₄ pada Tabel 10 dengan nilai energi listrik yang terdapat pada Tabel 1, sehingga hasil akhirnya dapat dilihat pada Tabel 12.

Tabel 12 Potensi Energi Listrik dari Pemanfaatan CH₄ di Proses Biologi (kWh/tahun)

| <i>Lower</i> | <i>Default</i> | <i>Upper</i> |
|-------------------|----------------|--------------|
| 36.780.000 | 37.290.833 | 37.801.667 |

Perbandingan Emisi dan Energi Listrik antara Proses Insinerasi dan Biologi

Berdasarkan perhitungan emisi dan energi listrik secara keseluruhan maka diperoleh perbandingan hasil proses insinerasi dan biologi pada Tabel 13. Hasil perbandingan menunjukkan bahwa emisi yang dihasilkan proses biologi lebih besar dibandingkan dengan insinerasi, sedangkan untuk energi listrik yang dihasilkan dari insinerasi lebih kecil dibandingkan dari pemanfaatan CH₄ dari proses biologi. Kedua perbandingan tersebut dapat menunjukkan bahwa perencanaan awal dari pengelolaan sampah secara insinerasi memang untuk mereduksi volume sampah dan tidak terfokus pada pemanfaatan energi yang dihasilkan. Di satu sisi, penerapan insinerasi juga dapat meminimalkan penggunaan lahan untuk *landfill* karena sudah tereduksinya sampah akibat pembakaran sampah. Hasil

estimasi emisi CH₄ dari proses biologi menunjukkan bahwa apabila dimanfaatkan dengan baik, CH₄ mampu menjadi potensi energi listrik dengan kuantifikasi yang besar. Terkait pencemaran lingkungan yang terjadi akibat kedua metode pengelolaan sampah tersebut, proses insinerasi pada pelaksanaannya mampu meminimalkan bahaya lingkungan yang ditimbulkan karena adanya pengendalian pencemaran udara sebelum pada akhirnya dilepaskan ke atmosfer, sedangkan pada proses biologi (*landfill*) memiliki resiko pencemaran yang tinggi apabila tidak ada penanganan dari emisi yang dihasilkannya.

Tabel 13 Perbandingan Pemulihan Sampah Menjadi Energi Listrik Antara Proses Insinerasi dan Biologi

| Parameter Perbandingan | Perbandingan | | |
|-------------------------------------|-------------------|----------------|------------|
| | Proses Insinerasi | Proses Biologi | |
| Emisi CO ₂ eq (Gg/tahun) | Lower | 58,38 | 61,06 |
| | Default | 59,22 | 61,87 |
| | Upper | 60 | 62,83 |
| Energi Listrik (kWh/tahun) | Lower | | 36.780.000 |
| | Default | 225.500 | 37.290.833 |
| | Upper | | 37.801.667 |

KESIMPULAN DAN SARAN

Hasil penelitian menunjukkan bahwa proses insinerasi di PLTSa Bantargebang menghasilkan emisi GRK rata-rata sebesar 59,22 Gg CO₂eq/tahun. Dengan timbulan sampah yang sama, proses biologi diestimasikan menghasilkan emisi yang lebih tinggi yaitu sebesar 61, 87 Gg CO₂eq/tahun. Energi listrik yang dihasilkan dari proses insinerasi lebih rendah jika dibandingkan dengan perkiraan energi listrik dari proses biologi. Meskipun demikian, proses insinerasi memiliki kelebihan lain yaitu dapat mereduksi volume sampah, meminimalkan penggunaan lahan, dan mengatasi permasalahan GRK dari CH₄. Saran untuk penelitian selanjutnya adalah menentukan *boundary system* penelitian dengan rantai yang lebih panjang dan melakukan perhitungan pada parameter pembanding lainnya seperti reduksi sampah, air lindi, dan analisis dampak lingkungan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kepada Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN) - Pusat Riset Lingkungan dan Teknologi Bersih serta Pembangkit Listrik Tenaga Sampah (PLTSa) Merah Putih, Bantargebang yang telah menaungi dalam proses penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Carolyn, R. D., & Wibawanti, E. (2019). Potret 5 (Lima) TPA Memanfaatkan Gas Metan (CH₄): Suatu potret upaya pemanfaatan Landfill Gas (CH₄) sebagai sumber energi alternatif-kecil namun berarti. *Direktorat Inventarisasi Gas Rumah Kaca Dan Monitoring, Pelaporan, Verifikasi Direktorat Jenderal Pengendalian Perubahan Iklim Kementerian Lingkungan Hidup Dan Kehutanan*, 6–10.
- Dai, S. (2016). Optimized Conversion of Municipal Solid Waste in Shanghai Applying Thermochemical Technologies. *Royal Institute of Technology*, 1–45.
- IPCC. (2006a). *2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Institute for Global Environmental Strategies (IGES)* (Vol. 6).
- IPCC. (2006b). Chapter 3 Mobile Combustion. *2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories*, 2, 3.1-3.78.
- IPCC. (2006c). Chapter 3 Solid Waste Disposal. *2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories*, 5, 3.1-3.40.
- IPCC. (2006d). Chapter 5 Incineration and Open Burning of Waste. *2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories*, 5, 5.1-5.26.
- IPCC. (2021). The Earth's Energy Budget, Climate Feedbacks and Climate Sensitivity - Supplementary Material. *IPCC*, 7(1), 16. Retrieved from https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/downloads/report/IPCC_AR6_WGI_Chapter_07_Supplementary_Material.pdf
- Nasri, MFA, U. M. T. S. (2015). Prediksi Konsumsi Bahan Bakar Minyak untuk Kendaraan Darat Jalan Raya Sampai Tahun 2040 Menggunakan Software Leap. *Jurnal Teknik Mesin S-1*, 3(2),

198–207.

- Sitomurni, A., Darmawan, D. A., Winanti, W., & ... (2021). Peluang Dan Peran Pembangkit Listrik Tenaga Sampah (Pltsa) Dalam Penurunan Emisi Gas Rumah Kaca (Grk). *Jurnal Rekayasa ...*, 14(2), 135–145. Retrieved from <https://ejurnal.bppt.go.id/index.php/JRL/article/view/5216>
- Sorensen, B. (2007). Renewable Energy Conversion, Transmission, and Storage, IX.
- United States Environmental Protection Agency. (2022). Understanding Global Warming Potentials. Retrieved from <https://www.epa.gov/ghgemissions/understanding-global-warming-potentials>