



SPECTA Journal of Technology

E-ISSN : 2622-9099

P-ISSN : 2549-2713

Homepage jurnal: <https://journal.itk.ac.id/index.php/sjt>

Analisis Emisi Gas Rumah Kaca pada Pengelolaan Sampah di Institut Teknologi Kalimantan menggunakan Metodologi Intergovernmental Panel on Climate Change

**Samuel Bunga^{1*}, Chandra Suryani Rahendaputri², Rahmi Yorika³,
Intan Dwi Wahyu Setyo Rini⁴, Melisa Triandini Maulani⁵**

^{1*2345} Departement of Environmental Engineering, Institut Teknologi Kalimantan, Jl. Soekarno-Hatta, Balikpapan, Indonesia.

*Corresponding email: samuelbunga.gp@gmail.com

Received: 1/July/2025

Accepted: 19/September/2025

Revised: 19/September/2025

Published: 31/December/2025

To cite this article:

Bunga, S., Rahendaputri, S. C., Yorika, R., Rini, I. D. W. S & Maulani, M. T (2025). Analisis Emisi Gas Rumah Kaca pada Pengelolaan Sampah di Institut Teknologi Kalimantan menggunakan Metodologi Intergovernmental Panel on Climate Change. *SPECTA Journal of Technology*, 9(3), 253 - 265. [10.35718/specta.v9i3.8481427](https://doi.org/10.35718/specta.v9i3.8481427)

Abstract

Institut Teknologi Kalimantan currently employs a solid waste disposal system, which has a high potential for greenhouse gas (GHG) emissions. The purpose of this study is to use the Intergovernmental Panel on Climate Change 2019 methodology to examine the GHG emissions from this current system and compare them to three alternative waste management scenarios. Three scenarios are assessed: 1) landfilling with 80% recycling and composting, 2) incineration with 50% recycling and composting, and 3) incineration and composting. Under current conditions (Scenario 0), paper waste accounts for 52% of total greenhouse gas emissions, making it the largest source. This is because paper waste has a high Degradable Organic Carbon (DOC) value. Scenario 3 (incineration and composting) produced the most greenhouse gas emissions in comparison to the other scenarios. 93% of the total emissions in this scenario came from the incineration process, making it the primary source of emissions. The comparison shows that the incineration process generates significantly higher greenhouse gas emissions than landfilling and composting, before accounting for economic considerations and air quality control. In particular, 56.17% of the total emissions came from incineration, whereas 37.80% came from landfilling and 6.02% from composting. In practical terms, these findings indicate that Institut Teknologi Kalimantan should prioritize composting in order to accomplish notable greenhouse gas abatement. In terms of policy, the findings lend credence to the notion that recycling programs ought to be reinforced since they are a more effective means of reducing emissions than incineration.

Keywords: Greenhouse Gas Emissions, Institut Teknologi Kalimantan, Waste Management

Abstrak

Institut Teknologi Kalimantan melakukan pengelolaan sampah dengan sistem *solid waste disposal* tanpa adanya proses pengolahan seperti daur ulang sampah. Praktik ini berpotensi menghasilkan emisi gas rumah kaca (GRK) yang tinggi. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis emisi GRK dari sistem pengelolaan sampah eksisting di Institut Teknologi Kalimantan dan membandingkannya dengan tiga skenario pengelolaan alternatif. Metodologi yang digunakan adalah *Intergovernmental Panel on Climate Change 2019*. Tiga skenario alternatif yang dievaluasi adalah: 1) Penimbunan di TPA, pengomposan sampah organik, dan daur ulang sampah dengan faktor pemanfaatan 80%; 2) Insinerasi, pengomposan sampah organik, dan daur ulang sampah dengan faktor pemanfaatan 50%; dan 3) Insinerasi yang dikombinasikan dengan pengomposan sampah organik. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pada kondisi eksisting (Skenario 0), sampah kertas menjadi penyumbang emisi GRK terbesar, yaitu 52% dari total

emisi. Hal ini disebabkan oleh nilai *Degradable Organic Carbon* (DOC) yang tinggi pada sampah kertas. Ketika dibandingkan dengan skenario alternatif, Skenario 3 (Insinerasi dan Pengomposan) menghasilkan emisi GRK tertinggi, proses insinerasi menjadi sumber emisi dominan, yaitu 93% dari total emisi skenario tersebut. Berdasarkan hasil perbandingan tanpa mempertimbangan aspek ekonomi dan *Air Quality Control* dapat disimpulkan, proses insinerasi menghasilkan emisi GRK yang lebih tinggi yaitu 56,17 % dibandingkan dengan penimbunan sampah di TPA 37,80%, dan pengomposan 6,02%. Temuan ini secara praktis memberikan landasan untuk memprioritaskan pengomposan sampah di Institut Teknologi Kalimantan guna mencapai mitigasi emisi GRK yang signifikan. Dari perspektif kebijakan, hasil penelitian ini dapat menjadi dasar untuk menguatkan program daur ulang sampah sebagai salah satu strategi dalam mengurangi emisi, dibandingkan dengan praktik insinerasi.

Kata Kunci: Emisi Gas Rumah Kaca, Institut Teknologi Kalimantan, Pengelolaan Sampah

1. Pendahuluan

Pengelolaan sampah domestik di lingkungan kampus, khususnya pada sampah organik, memiliki potensi signifikan dalam menghasilkan emisi gas rumah kaca jika tidak ditangani dengan tepat. Sehingga dapat mempercepat dampak pemanasan global, misalnya praktik pembakaran sampah yang secara langsung berkontribusi pada pelepasan gas CO₂ dan CH₄ ke atmosfer. Oleh karena itu, analisis kontribusi emisi dari pengelolaan sampah di institusi pendidikan tinggi penting dilakukan untuk mendukung pengembangan strategi mitigasi perubahan iklim yang efektif (Nindita et al., 2022). Hal penting yang perlu diperhatikan dalam pengelolaan sampah adalah terkait sistem pengolahan sampah yang dilakukan misalnya pengomposan, *anaerobic digestion*, dan insinerasi. Sistem pengolahan sampah tersebut memiliki potensi sumber emisi gas rumah kaca yang berbeda. Analisis siklus hidup menunjukkan bahwa sistem pengolahan sampah tidak hanya mempengaruhi total emisi CO₂, CH₄, dan N₂O tetapi juga berdampak pada kesehatan manusia. Oleh karena itu, diperlukan pemahaman mengenai sumber emisi yang dihasilkan dari pengolahan sampah. Sehingga strategi pengolahan sampah khususnya sampah organik dapat dilakukan dengan sistem yang berkelanjutan (Nordahl et al., 2020).

Hasil observasi lokasi penelitian yang dilakukan pada 18 November 2024, diketahui pengelolaan sampah domestik di lingkungan Institut Teknologi Kalimantan dilakukan dengan sistem *solid waste disposal*. Pada kondisi eksistingnya semua sampah di lingkungan Institut Teknologi Kalimantan langsung dibawa ke TPA Manggar Balikpapan tanpa adanya daur ulang sampah. Penimbunan sampah di TPA terutama pada sampah organik memiliki potensi menghasilkan gas rumah kaca berupa gas metana (CH₄). Gas tersebut berasal dari proses anaerobik saat sampah ditimbun dalam kurung waktu tertentu (Febrianti et al., 2023). Sampah yang langsung dibawa ke TPA tanpa adanya daur ulang memiliki potensi menghasilkan emisi gas rumah kaca yang lebih besar dibandingkan dengan sampah yang didaur ulang terlebih dahulu (Anifah et al., 2021). Pengelolaan sampah dengan sistem pengomposan sampah organik dan daur ulang sampah anorganik memiliki kontribusi dalam menurunkan emisi gas rumah kaca sebesar 22,0% dan 14,9% (Liem et al., 2024).

Analisis komposisi sampah perlu dilakukan sebelum melakukan pengelolaan sampah. Hal tersebut bertujuan untuk mengetahui jenis sampah pada suatu area. Sehingga rencana pengelolaan sampah yang dilakukan dapat disesuaikan dengan jenis sampah yang terdapat pada area tersebut (Rini et al., 2023). Skenario pengelolaan sampah dalam mengurangi emisi gas rumah kaca yang dihasilkan sangat diperlukan untuk mengetahui sumber emisi yang dihasilkan dari masing-masing skenario yang telah ditetapkan (Anifah et al., 2021). Oleh karena itu pada penelitian ini penulis melakukan analisis emisi Gas Rumah Kaca (GRK) berdasarkan kondisi eksisting pengelolaan sampah di Institut Teknologi Kalimantan yang selanjutnya dibandingkan dengan beberapa skenario alternatif pengelolaan sampah di Institut Teknologi Kalimantan.

2. Studi Literatur

2.1. Komposisi dan Timbulan Sampah Domestik Area Kampus

Analisis komposisi sampah perlu dilakukan untuk mengetahui persentase setiap komponen sampah berdasarkan klasifikasi dari masing-masing sampah (Rini et al., 2023). Menurut Standar Nasional Indonesia (SNI) 19-3964-1994 sampah yang berasal dari sarana pendidikan misalnya sekolah atau

kampus adalah sampah domestik yang berasal dari sumber “non perumahan” (Metode Pengambilan Dan Pengukuran Contoh Timbulan Dan Komposisi Sampah Perkotaan (SNI 19-3964-1994), 1994). Sumber timbulan sampah di kampus pada dasarnya berasal dari beberapa fasilitas seperti poliklinik, *student centre*, studio, kantin dan fasilitas lainnya (Gumilar & Ainun, 2018). Selain itu karakteristik dari berbagai aktivitas yang berlangsung di kampus misalnya aktivitas praktikum di laboratorium juga menjadi faktor yang mempengaruhi jumlah sampah di kampus (Retariandalas, 2021). Identifikasi jenis sampah di area kampus dapat dilakukan dengan pemilahan sampah dari sumbernya. Dengan adanya identifikasi jenis sampah maka akan mempermudah penentuan strategi pengelolaan sampah yang dilakukan (Rahendaputri et al., 2024).

2.2. Pengelolaan Sampah Domestik Area Kampus

Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia Nomor 6 Tahun 2022 Tentang Sistem Informasi Pengelolaan Sampah Nasional menjelaskan bahwa Pengelolaan Sampah adalah kegiatan sistematis, menyeluruh, dan berkesinambungan yang meliputi pengurangan dan penanganan sampah pada suatu area (Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia, 2022). Pengelolaan sampah mulai dari pengumpulan, pemindahan, pengangkutan hingga pembuangan atau pemrosesan akhir di TPA memiliki tujuan agar sampah tidak berdampak pada kesehatan masyarakat dan lingkungan sekitar dimana sampah tersebut bersumber (Rahmawati Sulistiyorini et al., 2015). Pengelolaan sampah yang efektif dan efisien merupakan salah satu langkah penting untuk mencapai kota yang berkelanjutan, komunitas dan kesesatan masyarakat serta pembangunan yang berkelanjutan. (Eka, 2018).

Pengelolaan sampah di lingkungan kampus harus disesuaikan dengan sumber sampah tersebut. Kebijakan kampus yang mendukung keberlanjutan dan keterlibatan civitas akademika melalui edukasi serta fasilitas pemilahan sampah yang mudah diakses adalah faktor penting dalam keberhasilan pengelolaan sampah di area kampus. Selain itu, penerapan prinsip 3R (*Reduce, Reuse, Recycle*) dan integrasi pengolahan lokal (seperti komposting untuk sampah organik) terbukti efektif dalam mengurangi beban sampah yang dibuang ke TPA dan dampak lingkungan kampus secara keseluruhan (Lestari, 2019). Pengelolaan sampah organik di area kampus harus memperhatikan aspek-pra-perlakuan (*pretreatment*), aerasi, ukuran tumpukan sampah, dan kontrol kelembaban. Hal tersebut bertujuan untuk meminimalkan emisi CH_4 dan N_2O dalam proses komposting (Nordahl et al., 2023).

2.3. Gas Rumah Kaca

Gas rumah kaca adalah gas di atmosfer yang dapat menyerap dan memancarkan radiasi inframerah dari sinar matahari. Gas rumah kaca dihasilkan secara alami atau dari akibat aktivitas manusia. Ketika panas yang mengandung infra merah terperangkap di dalam gas rumah kaca akan mengakibatkan terjadinya peningkatan suhu di permukaan bumi dan selanjutnya menyebabkan terjadinya perubahan iklim. Gas-gas yang memiliki sifat gas rumah kaca antara lain adalah karbon dioksida (CO_2), dinitro oksida (N_2O), metana (CH_4), gas-gas terflorinasi (HFCs, PFCs dan SF_6), kelompok aldehyd, ozon (O_3) dan uap air (H_2O) (Dhea Ulhaq Mardhatillah et al., 2022). Sebagian besar emisi gas rumah kaca bersumber dari pengelolaan sampah organik berupa emisi CO_2 , CH_4 dan N_2O . Dimana emisi yang dominan dihasilkan adalah emisi CH_4 yang dihasilkan dari proses perombakan secara anaerob maupun aerob pada saat proses dekomposisi sampah organik. Dimana proses perombakan aerob terjadi pada sampah lapisan atas yang kontak langsung dengan udara bebas. Sedangkan pada emisi gas N_2O pada dasarnya terbentuk dalam jumlah yang kecil dan berasal dari dari proses perombakan protein yang terkandung dalam sampah organik saat proses pengolahan sampah organik menjadi kompos (Wahyudi, 2019).

2.4. The Intergovernmental Panel on Climate Change 2019 Volume 5 Waste

The Intergovernmental Panel on Climate Change 2019 atau IPCC 2019 adalah pedoman untuk melakukan inventarisasi Gas Rumah Kaca Nasional yang memberikan metodologi dalam memperkirakan inventarisasi emisi Gas Rumah Kaca (GRK) dari sumbernya. IPCC 2019 merupakan penyempurnaan dari IPCC 2006 yang memiliki tujuan utama untuk memberikan dasar ilmiah yang terkini dan kuat dalam mendukung inventarisasi GRK nasional secara berkelanjutan. Berdasarkan Pedoman IPCC 2019 dapat diketahui bahwa dalam melakukan inventarisasi dan perhitungan estimasi

emisi gas rumah kaca harus berdasarkan faktor emisi yang ditinjau dan nilai dari gas rumah kaca tersebut direkomendasikan untuk diubah menjadi satuan ekuivalen CO₂ (Calvo et al., 2019).

Pengelolaan dan pembuangan limbah kota, industri dan limbah padat lainnya akan menghasilkan gas metana CH₄ dalam jumlah yang signifikan. Selain CH₄ tempat pembuangan limbah padat juga menghasilkan karbon dioksida, CO₂ dan (N₂O) (Edward Hunstone et al., 2019). Banyak negara di dunia melakukan pengelolaan limbah dengan menerapkan berbagai kebijakan dengan tujuan untuk mengurangi jumlah limbah yang dibawa ke pembuangan akhir atau TPA, karena semakin banyak limbah yang diolah maka akan mempengaruhi dampak lingkungan pada sektor pengelolaan limbah, selain itu hal tersebut juga berpengaruh pada pemulihan gas rumah kaca di TPA (Edward Hunstone et al., 2019). Potensi gas metana CH₄ pada sampah padat yang ditimbun di TPA dapat diperkirakan berdasarkan jumlah dan komposisi sampah yang ditimbun di TPA (Edward Hunstone et al., 2019).

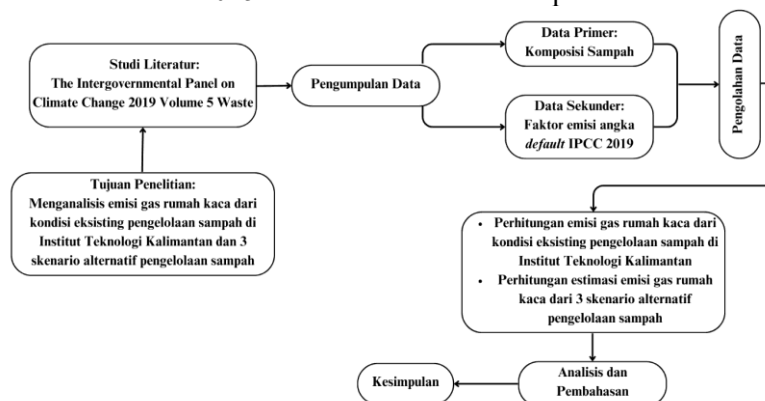
Pengelolaan sampah secara biologis seperti pengomposan atau penguraian secara aerobik dan atau anaerobik akan mempengaruhi jumlah komposisi sampah yang dibawa ke TPA. Pengomposan sampah organik, misalnya sampah makanan, sampah kebun dan taman, serta lumpur yang dilakukan di negara berkembang dan negara maju memiliki tujuan untuk mengurangi volume sampah organik yang dihasilkan (Pipatti et al., 2019). Meskipun pengomposan sampah organik berpotensi menghasilkan emisi gas rumah kaca namun perlu diketahui bahwa melakukan pengelolaan sampah organik dengan pengomposan menghasilkan emisi metana 95% lebih sedikit dibandingkan limbah yang langsung dibawa ke TPA dengan tidak adanya pengelolaan sampah lanjutan. Emisi CH₄ dan N₂O yang dihasilkan dari proses pengomposan sampah organik bergantung pada jumlah sampah dan durasi pengomposan yang dilakukan (Sirintornthep Towprayoon et al., 2019).

Pengelolaan sampah secara termal dapat diklasifikasikan menjadi beberapa bagian yaitu insinerasi, pirolisis, gasifikasi, plasma, dan pembakaran secara terbuka. Insinerasi sampah dapat didefinisikan sebagai pembakaran sampah padat dan cair pada fasilitas insinerasi yang terkendali. Dimana pada insinerasi yang digunakan dirancang memiliki cerobong yang tinggi dan ruang pembakaran khusus yang menghasilkan suhu pembakaran yang tinggi, waktu tinggal lama, dan pengadukan limbah yang efisien. Jenis limbah yang direkomendasikan untuk dibakar dengan insinerasi adalah meliputi limbah padat domestik, limbah industri, limbah B3, limbah medis, dan lumpur (Sirintornthep Towprayoon et al., 2019). Data aktivitas dari proses pengolahan sampah dengan menggunakan insinerasi adalah jumlah sampah yang masuk ke dalam *incinerator* dan faktor emisi didasarkan pada kandungan karbon yang teroksidasi (Sirintornthep Towprayoon et al., 2019).

3. Metode Penelitian

3.1. Alur Penelitian

Alur penelitian dapat dilihat pada gambar 1. Penelitian ini menggunakan data primer dan data sekunder. Data primer yang digunakan adalah data komposisi dan jumlah sampah Institut Teknologi Kalimantan tahun 2025. Data sekunder yang digunakan adalah faktor emisi angka *default* berdasarkan *Intergovernmental Panel on Climate Change* 2019. Pengumpulan data primer dilakukan pada Senin 17 Februari 2025 – Senin 24 Februari 2025 berlokasi di Shelter Sampah Institut Teknologi Kalimantan.



Gambar 1: Alur Penelitian

3.2. Skenario Pengelolaan Sampah Institut Teknologi Kalimantan

Pemilihan skenario pengelolaan sampah di Institut Teknologi Kalimantan berupa pembakaran sampah, pengomposan, dan daur ulang sampah didasari pada pendapat para ahli berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukannya. Pembakaran sampah menggunakan insinerator dapat mengurangi massa sampah dan volume sampah yang dihasilkan, dimana pada penelitian tersebut dengan membakar sampah menggunakan insinerator dapat mengurangi massa sampah sebesar 83,1% dan volume sampah sebesar 96,5% (Kwon et al., 2024). Penelitian serupa juga menjelaskan bahwa pembakaran sampah menggunakan insinerator mampu mengurangi massa sampah hingga 70% dan volume sampah 97% dari sampah yang dihasilkan (Utomo et al., 2024). Pengelolaan sampah berupa daur ulang juga diterapkan dalam skenario ini karena mampu mengurangi volume sampah sebesar 67% - 75,7% berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh (Hutagalung et al., 2023). Pengelolaan sampah dengan daur ulang sampah anorganik sistem bank sampah juga dipilih karena mampu mengurangi volume sampah. Hasil penelitian yang dilakukan oleh (Wardhani et al., 2018). menunjukkan dengan daur ulang sampah dengan sistem bank sampah mampu mengurangi volume sampah hingga 81,5% dari sampah yang dihasilkan. Skenario pengelolaan sampah pada penelitian ini dapat dilihat pada tabel 1.

Table 1: Skenario Pengelolaan Sampah Institut Teknologi Kalimantan

Skenario	Jenis Pengelolaan Sampah			Keterangan
	Sampah Organik	Sampah Anorganik	Sampah Residu	
0	<i>Solid Waste Disposal</i> (TPA)	<i>Solid Waste Disposal</i> (TPA)	<i>Solid Waste Disposal</i> (TPA)	Kondisi Eksisting Pengelolaan Sampah Di Institut Teknologi Kalimantan
1	Pengomposan	Daur Ulang (Bank Sampah)	<i>Solid Waste Disposal</i> (TPA)	Faktor Pemanfaatan Sampah 80% Per Jenis Sampah
2	Pengomposan	Daur Ulang (Bank Sampah)	Pembakaran Sampah (<i>Incineration</i>)	Faktor Pemanfaatan Sampah 50% Per Jenis Sampah
3	Pengomposan	Pembakaran Sampah (<i>Incineration</i>)	Pembakaran Sampah (<i>Incineration</i>)	-

3.3. Perhitungan Estimasi Emisi Gas Rumah Kaca

Perhitungan estimasi emisi gas rumah kaca untuk kondisi eksisting pengelolaan sampah di Institut Teknologi Kalimantan (skenario 0) dan ketiga skenario alternatif, dilakukan dengan mengacu pada metode inventarisasi emisi gas rumah kaca berdasarkan *Intergovernmental Panel on Climate Change* tahun 2019. Potensi emisi gas rumah kaca yang berasal dari *Solid waste disposal* (TPA) adalah gas CH₄ pada sampah padat yang ditimbun di TPA (Edward Hunstone et al., 2019). Perhitungan estimasi emisi gas rumah kaca dilakukan dengan menggunakan persamaan 1 untuk mendapatkan nilai karbon organik sampah yang terdegradasi dan terkomposisi berdasarkan sampah yang dibawa ke TPA. Nilai dari perhitungan dari persamaan 1 selanjutnya digunakan untuk menghitung estimasi gas metana yang dihasilkan dari sampah yang dibawa ke TPA dengan menggunakan persamaan 2.

$$DDOC_m = W * DOC * DOC_f * MCF \quad (1)$$

Dimana:

- DDOC_m = Karbon organik yang terdegradasi dan terkomposisi (kg)
- W = Jumlah sampah (berat basah) yang dibuang (kg)
- DOC = Fraksi karbon organik yang terdegradasi
- DOC_f = Fraksi karbon organik yang terdekomposisi
- MCF = Faktor koreksi CH₄ pada dekomposisi aerobik

$$L_o = DDOC_m * F * \frac{16}{12} \quad (2)$$

Dimana:

- L_o = Potensi gas CH₄ yang dihasilkan
 $DDOC_m$ = Jumlah sampah (berat basah) yang dibuang (kg)
 DOC = Massa karbon organik yang terdegradasi dan terdekomposisi (kg)
 F = Fraksi gas CH₄ dari gas landfill yang dihasilkan
 $16/12$ = Rasio berat molekul CH₄/C

Potensi emisi gas rumah kaca yang dihasilkan dari proses pengomposan sampah organik adalah gas CH₄ dan N₂O (Pipatti et al., 2019). Perhitungan estimasi emisi gas rumah kaca dilakukan dengan menggunakan persamaan 3.

$$\text{Emisi} = (M_i * EF_i) * 10^{-3} - R \quad (3)$$

Dimana:

- $Emisi$ = Total emisi CH₄ atau emisi N₂O yang dihasilkan (Gg)
 M_i = Jumlah sampah yang dikomposkan (Gg)
 EF_i = Faktor emisi CH₄ atau emisi N₂O (kg CH₄)
 R = Total emisi yang recovery

Potensi emisi gas rumah kaca yang dihasilkan dari proses pembakaran sampah (*incineration*) adalah gas CO₂, CH₄, dan N₂O (Sirintornthep Towprayoon et al., 2019). Perhitungan estimasi emisi gas CO₂ dilakukan dengan menggunakan persamaan 4. Perhitungan estimasi emisi gas CH₄ dan N₂O dilakukan dengan menggunakan persamaan 5.

$$\text{Emisi CO}_2 = \sum i (SW_i * dm_i * CF_i * FCF_i * OF_i) * \frac{44}{12} \quad (4)$$

Dimana:

- $Emisi CO_2$ = emisi CO₂ yang dihasilkan dari *incinerator*
 SW_i = jumlah sampah yang dihasilkan dalam tahun inventori
 dm_i = fraksi berat kering dari jumlah sampah yang dihasilkan
 CF_i = fraksi total karbon di dalam berat kering sampah
 FCF_i = fraksi karbon fossil di dalam total karbon
 OF_i = faktor oksidasi
 $\frac{44}{12}$ = faktor konversi dari C ke CO₂

$$\text{Emisi CH}_4 / \text{N}_2\text{O} = \sum i (IW_i * EF_i) * 10^{-6} \quad (5)$$

Dimana:

- $Emisi$ = emisi gas CH₄ / N₂O yang dihasilkan dari *incinerator*
 IW_i = jumlah sampah yang masuk ke *incinerator*
 EF_i = faktor emisi CH₄ / N₂O

4. Hasil dan Pembahasan

4.1. Jumlah Sampah Eksisting Institut Teknologi Kalimantan

Jumlah sampah periode 1 tahun (2025) digunakan untuk menghitung nilai estimasi emisi gas rumah kaca selama periode 1 tahun berdasarkan skenario pengelolaan sampah yang telah ditentukan. Perhitungan perkiraan jumlah sampah diperoleh dari hasil perhitungan dengan mengalikan nilai antara timbunan sampah, jumlah civitas akademika, dan periode 1 tahun atau 365 hari. Hasil perkiraan jumlah sampah dapat dilihat pada tabel 2.

Table 2: Jumlah Sampah Eksisting

Jenis Sampah	Persentase Komposisi Sampah (%)	Jumlah Sampah (kg/tahun)
Organik	30,40	15.715,99
Kertas	18,43	9.525,59
Plastik	37,17	19.211,78

Jenis Sampah	Persentase Komposisi Sampah (%)	Jumlah Sampah (kg/tahun)
Kaca	0,76	391,92
Logam	0,66	340,82
Kayu	3,99	2.060,43
Lainnya	8,60	4.442,96
Total	100	51.689,48

Hasil pengukuran komposisi sampah dan timbunan sampah di shelter sampah Institut Teknologi Kalimantan, menunjukkan komposisi sampah yang paling dominan adalah sampah plastik, dengan persentase sebesar 37,2%. Sampah plastik diperkirakan berasal dari kemasan makanan dan minuman sekali pakai di kantin Institut Teknologi Kalimantan. Kantin di Institut Teknologi Kalimantan merupakan kantin cepat saji tanpa adanya aktivitas memasak di tempat, sehingga sebagian besar wadah penyajian berupa kemasan plastik, seperti kantong plastik, cup minuman, sedotan, beserta bungkus makanan instan sekali pakai yang didominasi penggunaan bahan *non-reusable* tersebut menjadi penyumbang utama terhadap tingginya timbunan plastik di Institut Teknologi Kalimantan.

4.2. Estimasi Emisi Gas Rumah Kaca Pada Skenario 0

Estimasi emisi gas rumah kaca pada kondisi eksisting pengelolaan sampah di Institut Teknologi Kalimantan (skenario 0) yaitu seluruh sampah yang dihasilkan, dibawa ke TPA untuk ditimbun (*solid waste disposal*). Nilai emisi gas rumah kaca pada setiap sampah yang ditimbun di TPA dapat dilihat pada tabel 3.

Tabel 3: Emisi Gas Rumah Kaca *Solid Waste Disposal* (TPA) Skenario 0

Jenis Sampah	Jumlah Sampah (kg/tahun)	Jumlah Gas CH ₄ (kg/tahun)	Gas Rumah Kaca (Kg-CO ₂ e/tahun)
Organik	15.715,99	550,06	14.851,61
Kertas	9.525,59	635,04	17.146,06
Plastik	19.211,78	0,00	0,00
Kaca	391,92	0,00	0,00
Logam	340,82	0,00	0,00
Kayu	2.060,43	29,53	797,38
Lainnya	4.442,96	0,00	0,00
Total	51.689,48	1214,63	32.795,05

Emisi Gas Rumah Kaca Penimbunan Sampah dapat dilihat pada tabel 3. Jenis sampah yang memiliki potensi menghasilkan emisi gas CH₄ pada penimbunan sampah di TPA adalah sampah organik (sisa makanan), sampah kertas, dan sampah kayu. Nilai emisi tersebut dipengaruhi oleh nilai *Degradable Organic Carbon* (DOC). DOC merupakan nilai karbon organik pada masing-masing sampah yang dapat terurai menjadi gas CH₄, nilai DOC sampah organik adalah 0,15 nilai DOC sampah kayu adalah 0,43 dan nilai DOC sampah kertas adalah 0,40 (Sirintornthep et al., 2019). Jenis sampah kertas menunjukkan nilai emisi gas metana tertinggi yaitu 635,04 CH₄ (kg/tahun) atau 52% dari total emisi gas rumah kaca yang dihasilkan pada penimbunan sampah di TPA skenario 0. Tingginya nilai gas CH₄ pada sampah kertas dipengaruhi oleh nilai DOC dan jumlah sampah kertas yang ditimbun di TPA. Meskipun nilai DOC sampah kayu lebih tinggi daripada nilai DOC sampah kertas namun emisi gas CH₄ pada sampah kertas lebih tinggi hal ini karena jumlah sampah kertas yang ditimbun di TPA lebih tinggi dibandingkan dengan jumlah sampah kayu.

Emisi gas metana sampah kertas lebih tinggi dibandingkan dengan sampah organik (sisa makanan) meskipun jumlah sampah organik (sisa makanan) yang ditimbun di TPA lebih tinggi dibandingkan dengan sampah kertas, hal ini karena nilai DOC sampah kertas jauh lebih tinggi dibandingkan dengan nilai DOC sampah organik (sisa makanan). Nilai DOC sampah kertas sebagian besar terdiri dari

selulosa, dimana secara sederhana selulosa merupakan karbohidrat yang digunakan oleh mikroorganisme dalam proses metanogenesis yang menghasilkan produk utama berupa gas metana. Sampah organik seperti sisa makanan umumnya memiliki kandungan air yang tinggi dibandingkan dengan sampah kertas yang jauh lebih kering, sehingga hal tersebut memperlambat aktivitas mikroorganisme dalam proses degradasi. Total emisi GRK yang dihasilkan pada skenario 0 adalah sebesar 32.795,05 Kg-CO₂e/tahun.

4.3. Estimasi Emisi Gas Rumah Kaca Pada Skenario 1

Skenario 1 merupakan pengelolaan sampah dengan penimbunan sampah di TPA yang menggunakan sistem pemanfaatan sampah dengan asumsi sampah yang dimanfaatkan sebesar 80% (*recovery factor*). Berdasarkan hal tersebut maka sebanyak 80% sampah dimanfaatkan (sampah reduksi) dan 20% berupa sampah residu ditimbun di TPA. Pemanfaatan sampah sebesar 80% dihitung per jenis sampah yang dimanfaatkan pada skenario 1. Nilai estimasi emisi gas rumah kaca pada sampah residu (20%) dapat dilihat pada tabel 4.

Table 4: Emisi Gas Rumah Kaca *Solid Waste Disposal* (TPA) Skenario 1

Jenis Sampah	Jumlah Sampah Residu 20% (kg/tahun)	Jumlah Gas CH ₄ (kg/tahun)	Gas Rumah Kaca (Kg-CO ₂ e/tahun)
Organik	3.143,20	110,01	2.970,32
Kertas	1.905,12	127,01	3.429,21
Plastik	3.842,36	0,00	0,00
Kaca	78,38	0,00	0,00
Logam	68,16	0,00	0,00
Kayu	412,09	5,91	159,48
Lainnya	4.442,96	0,00	0,00
Total	13.892,27	242,93	6.559,01

Sampah residu yang ditimbun di TPA sebanyak 20% (skenario 1) menghasilkan emisi gas rumah kaca dengan total nilai sebesar 6.559,01 Kg-CO₂e/tahun. Hasil estimasi emisi gas rumah kaca pada pemanfaatan sampah skenario 1 dapat dilihat pada tabel 5.

Table 5: Emisi Gas Rumah Kaca Pemanfaatan Sampah Skenario 1

Jenis Sampah	Jumlah Sampah	Pengolahan	Gas	Jumlah Gas (kg/tahun)	Gas Rumah Kaca (Kg-CO ₂ e/tahun)
Organik	12572,79	Pengomposan	CH ₄ N ₂ O	50,29 3,02	1.357,86 823,77
Kertas	7.620,47	Daur Ulang (Bank Sampah)	-	0,00	0,00
Plastik	15.369,42				
Kaca	313,53				
Logam	272,65				
Kayu	1.648,34	-	-	-	2.181,63
Total	37.797,21				

Total emisi gas rumah kaca yang dihasilkan pada pemanfaatan sampah skenario 1 adalah 2.181,63 Kg-CO₂e/tahun. Nilai tersebut secara langsung berasal dari proses pengomposan sampah organik. Pada pengomposan sampah organik emisi gas rumah kaca tertinggi adalah gas metana. Tingginya nilai emisi gas metana pada pengomposan dipengaruhi oleh proses dekomposisi material organik yang dilakukan oleh mikroorganisme. Daur ulang sampah anorganik dengan sistem bank sampah diasumsikan dilakukan dengan penyortiran sampah di shelter sampah dan pendistribusian ke industri daur ulang. Karena dalam pengolahan yang dilakukan tidak melibatkan proses yang menghasilkan emisi gas rumah kaca secara langsung dari sektor sampah misalnya proses dekomposisi secara biologis atau pembakaran sampah, maka emisi gas rumah kaca yang dihasilkan adalah 0. Total emisi gas rumah kaca dari

pengelolaan sampah skenario 1 adalah 8.740,64 Kg-CO₂e/tahun. Nilai tersebut lebih rendah jika dibandingkan dengan total nilai emisi pada skenario 0. Diketahui dengan adanya pemanfaatan sampah yang dilakukan pada pengelolaan sampah berupa penimbunan sampah di TPA, maka memiliki potensi mengurangi emisi gas rumah kaca sebesar 73%.

4.4. Estimasi Emisi Gas Rumah Kaca Pada Skenario 2

Skenario 2 merupakan pengelolaan sampah dengan pembakaran sampah (*incinerator*) yang menggunakan sistem pemanfaatan sampah dengan asumsi sampah yang dimanfaatkan sebesar 50% (*recovery factor*). Berdasarkan hal tersebut maka sebanyak 50% sampah dimanfaatkan (sampah reduksi) dan 50% berupa sampah residu dibakar menggunakan insinerator. Pemanfaatan sampah sebesar 50% dihitung per jenis sampah yang dimanfaatkan pada skenario 2. Emisi pembakaran sampah menggunakan insinerator dari 50% sampah residu skenario 2 dapat dilihat pada tabel 6.

Table 6: Emisi Gas Rumah Kaca Pembakaran Sampah (Insinerator) Skenario 2

Jenis Sampah	Jumlah Sampah Residu 50% kg/tahun	Gas	Jumlah Gas kg/tahun	Gas Rumah Kaca (Kg-CO ₂ e/tahun)
Organik	7857,99	CO ₂	0,00	0,00
		CH ₄	1,86	50,28
		N ₂ O	0,47	128,71
Kertas	4762,79	CO ₂	51,33	51,33
		CH ₄	1,13	30,48
		N ₂ O	0,29	78,01
Plastik	9605,89	CO ₂	18755,50	18.755,50
		CH ₄	2,28	61,47
		N ₂ O	0,58	157,34
Kayu	1030,21	CO ₂	0,00	0,00
		CH ₄	0,24	6,59
		N ₂ O	0,06	16,87
Lainnya	4442,96	CO ₂	312,30	312,30
		CH ₄	1,05	28,43
		N ₂ O	0,27	72,78
Total	27699,85	-	-	19.750,10

Tabel 6 menunjukkan total emisi gas rumah kaca pada pembakaran sampah skenario 2 adalah 19.750,10 Kg-CO₂e/tahun. Nilai emisi tertinggi adalah emisi gas CO₂ pada sampah plastik. Tingginya nilai gas CO₂ pada pembakaran sampah plastik dipengaruhi oleh karbon fosil yang terdapat dalam sampah plastik. Karbon yang berasal dari bahan fosil seperti sampah plastik ketika dibakar di dalam insinerator akan terjadi pelepasan karbon baru yang membentuk molekul gas CO₂ yang lebih tinggi dibandingkan dengan kategori sampah lain seperti sampah organik. Pembakaran sampah organik juga melepaskan gas CO₂ namun gas tersebut berasal dari pembakaran biomassa yang menghasilkan karbon biogenik yang tidak dihitung sebagai emisi GRK bersih dalam inventarisasi emisi GRK karena gas CO₂ yang dihasilkan merupakan bagian dari siklus karbon alami dimana gas tersebut akan diserap oleh tumbuhan pada proses fotosintesis. Emisi gas N₂O dan gas CH₄ memiliki nilai emisi yang rendah dibandingkan dengan emisi gas karbon dioksida hal ini karena gas tersebut terbentuk pada kondisi tidak optimal seperti ketersediaan oksigen, atau zona dingin dan zona panas. Hasil estimasi emisi gas rumah kaca pada pemanfaatan sampah di skenario 2 dapat dilihat pada tabel 7.

Table 7: Emisi Gas Rumah Kaca Pemanfaatan Sampah Skenario 2

Jenis Sampah	Jumlah Sampah	Pengolahan	Gas	Jumlah Gas (kg/tahun)	Gas Rumah Kaca (Kg-CO ₂ e/tahun)
Organik	7.857,99	Pengomposan	Gas CH ₄	31,43	848,66
			Gas N ₂ O	1,89	514,86
Kertas	4.762,79	Daur Ulang (Bank Sampah)	-	0,00	0,00
Plastik	9.605,89				
Kaca	391,92				
Logam	340,82				
Kayu	1.030,21				
Total	23.989,63	-	-	0,00	1.363,52

Tabel 7. menunjukkan total emisi gas rumah kaca yang dihasilkan dari pemanfaatan sampah skenario 1 adalah 1.363,52 Kg-CO₂e/tahun, dimana emisi tersebut berasal dari pengomposan sampah organik. Total emisi gas rumah kaca dari pengelolaan sampah skenario 2 adalah 21.113,62 Kg-CO₂e/tahun. Nilai emisi tersebut lebih rendah jika dibandingkan dengan total emisi gas rumah kaca pada skenario 0, sehingga diketahui terdapat potensi 40% pengurangan emisi gas rumah kaca yang dihasilkan dengan skema pemanfaatan sampah sebesar 50% pada pengelolaan sampah yang dilakukan.

4.5. Estimasi Emisi Gas Rumah Kaca Pada Skenario 3

Skenario 3 merupakan pengelolaan sampah dengan pembakaran sampah dan pengomposan sampah dan tidak dilakukan pemanfaatan sampah, yaitu semua sampah anorganik dibakar dengan menggunakan insinerator dan semua sampah organik akan diolah dengan pengomposan. Hasil emisi gas rumah kaca yang dihasilkan dari pengelolaan sampah skenario 3 dapat dilihat pada tabel 7.

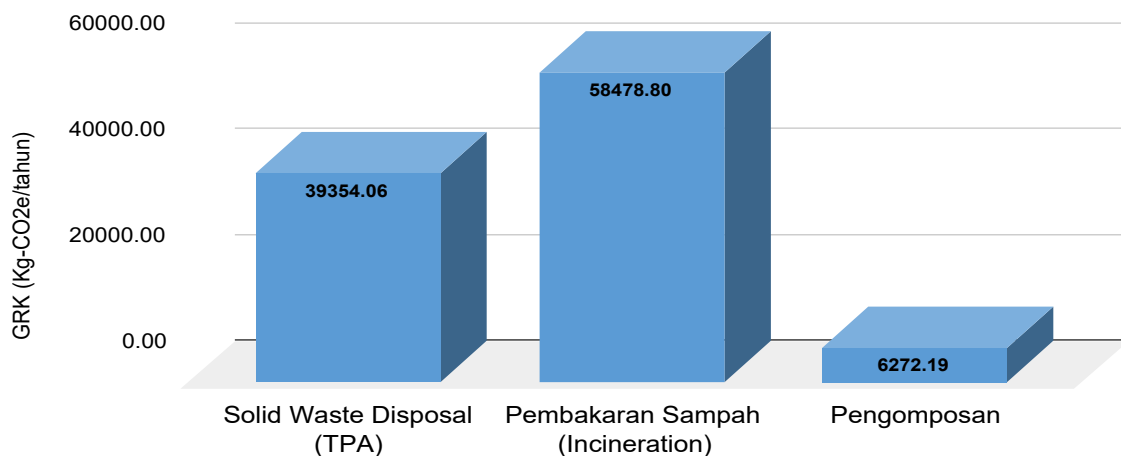
Table 8: Emisi Gas Rumah Kaca Pada Pengelolaan Sampah Skenario 3

Pembakaran Sampah (Insinerator)				
Jenis Sampah	Jumlah Sampah kg/tahun	Gas	Jumlah Gas kg/tahun	Gas Rumah Kaca (Kg-CO ₂ e/tahun)
Kertas	9.525,59	CO ₂	102,66	102,66
		CH ₄	2,26	60,95
		N ₂ O	0,57	156,03
Plastik	19.211,78	CO ₂	37510,99	37.510,99
		CH ₄	4,55	122,94
		N ₂ O	1,15	314,69
Kayu	2.060,43	CO ₂	0,00	0,00
		CH ₄	0,49	13,18
		N ₂ O	0,12	33,75
Lainnya	4.442,96	CO ₂	312,30	312,30
		CH ₄	1,05	28,43
		N ₂ O	0,27	72,78
Total	51.689,48	-	-	38.728,70
Pengomposan Sampah				
Jenis Sampah	Jumlah Sampah kg/tahun	Gas	Jumlah Gas kg/tahun	Gas Rumah Kaca (Kg-CO ₂ e/tahun)
Organik	15.715,99	CH ₄	62,86	1.697,33
		N ₂ O	3,77	1.029,71
Total	15.715,99	-	-	2.727,04

Tabel 8 menunjukkan total emisi gas rumah kaca dari pengelolaan sampah skenario 3 adalah 41.455,74 Kg-CO₂e/tahun. Nilai emisi gas rumah kaca pada skenario 3 menunjukkan nilai emisi yang lebih tinggi jika dibandingkan dengan nilai emisi pada skenario 0, sehingga dapat diketahui pengelolaan sampah berupa pembakaran sampah dengan asumsi tanpa adanya *air quality control* (pengendalian kualitas udara) memiliki potensi emisi gas rumah kaca yang lebih tinggi dibandingkan dengan pengelolaan sampah dengan penimbunan sampah di TPA.

4.6. Total Emisi Gas Rumah Kaca Berdasarkan Sistem Pengolahan Sampah

Sistem pengolahan sampah yang berpotensi menghasilkan emisi gas rumah kaca adalah *Solid Waste Disposal* (TPA), Pengomposan, dan Pembakaran Sampah (*Incineration*). Hal ini dikarenakan pada proses pengolahan sampah tersebut terdapat proses degradasi material organik dan material karbon fosil baik secara biologis maupun secara *thermal*. Total nilai emisi gas rumah kaca pada ketiga sistem pengolahan sampah tersebut dapat dilihat pada gambar 2.



Sumber Emisi Gas Rumah Kaca

Gambar 2: Total Emisi Gas Rumah Kaca Berdasarkan Sistem Pengolahan Sampah

Total nilai emisi gas rumah kaca pada ketiga sistem pengelolaan sampah yang diterapkan dalam skenario alternatif pengelolaan sampah, menunjukkan pengelolaan sampah dengan insinerator memiliki potensi yang tinggi dalam menghasilkan emisi gas rumah kaca dibandingkan dengan pengelolaan sampah berupa penimbunan sampah di TPA dan pengomposan. Gas CO₂ yang merupakan emisi gas rumah kaca dominan yang dihasilkan dari proses pembakaran sampah. Gas CO₂ tersebut dilepaskan ke atmosfer akibat pembakaran material organik dan sampah anorganik berbasis bahan fosil seperti plastik sekali pakai.

5. Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan dapat disimpulkan total emisi gas rumah kaca pada kondisi eksisting pengelolaan sampah di Institut Teknologi Kalimantan (skenario 0) adalah 32795,05 Kg-CO₂e/tahun. Total emisi gas rumah kaca skenario 1 adalah 8740,64 Kg-CO₂e/tahun. Total emisi gas rumah kaca skenario 2 adalah 21113,62 Kg-CO₂e/tahun. Total emisi gas rumah kaca skenario 3 adalah 41455,74 Kg-CO₂e/tahun. Berdasarkan sistem pengolahan sampah yang dilakukan pada semua skenario diketahui emisi terbesar bersumber dari proses pembakaran sampah (*Incineration*) dengan nilai emisi sebesar 58478,80 Kg-CO₂e/tahun atau 56,17 % dari total emisi yang bersumber dari sistem pengolahan sampah yang diterapkan (Pengomposan, *Solid Waste Disposal* (TPA), Pembakaran Sampah (*Incineration*)).

Daftar Pustaka

- Anifah, E. M., Rini, I. D. W. S., Hidayat, R., & Ridho, M. (2021). Estimasi Emisi Gas Rumah Kaca (GRK) Kegiatan Pengelolaan Sampah di Kelurahan Karang Joang, Balikpapan. *Jurnal Sains & Teknologi Lingkungan*, 13(1). <https://doi.org/10.20885/jstl.vol13.iss1.art2>

- Calvo, B., Eduardo, Guendehou, S., & Tanabe, K. (2019). *2019 Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories*.
- Dhea Ulhaq Mardhatillah, C., Permata Jingga, F., Ramadhani, N., Vrika, R., & Fevria, R. (2022). *Prosiding SEMNAS BIO 2022 UIN Syarif Hidayatullah Jakarta Greenhouse Effect Triggers of Global Warming and Countermeasures Efek Rumah Kaca Pemicu Pemanasan Global dan Upaya Penanggulangannya*.
- Edward Hunstone, M., Jarusutthirak, C., Ritzkowski, M., & Thomsen, M. (2019). *IPCC 2019 Volume 5 Chapter 3 (Solid Waste Disposal)*.
- Eka, W. R. (2018). *Estimasi Emisi Gas Rumah Kaca dari Sampah Rumah Tangga di Kecamatan Bula, Kota Surabaya dengan Metode IPCC*. Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Febrianti, N., Dwi,), Prambudi, A., & Dinda Anggraeny, R. (2023). *Analisis Emisi Gas Rumah Kaca (GRK) pada Pengelolaan Sampah Organik (Studi Kasus: ITF Kota Hijau Balikpapan)*.
- Gumilar, G., & Ainun, siti. (2018). *Kajian Timbulan dan Komposisi Sampah di Kampus Institut Teknologi Nasional Bandung (Itenas) Study of Waste Generation and Composition in Bandung National Institute of Technology Campus (Itenas)*.
- Hutagalung, D. S., Naria, E., & Tumanggor, W. R. E. (2023). Analisis efektivitas pengelolaan sampah organik kering dengan metode komposting pada taman kota. *Tropical Public Health Journal*, 3(1), 33–41. <https://doi.org/10.32734/trophico.v3i1.11699>
- Kwon, Y., Lee, S., Bae, J., Park, S., Moon, H., Lee, T., Kim, K., Kang, J., & Jeon, T. (2024). Evaluation of Incinerator Performance and Policy Framework for Effective Waste Management and Energy Recovery: A Case Study of South Korea. *Sustainability*, 16(1), 448. <https://doi.org/10.3390/su16010448>
- Lestari, N. (2019). Waste Management Design for Green Campus. *JTEV (Jurnal Teknik Elektro Dan Vokasional)*, 5(1.1), 73. <https://doi.org/10.24036/jtev.v5i1.1.106150>
- Liem, Y. F., Farahdiba, A. U., Warmadewanthi, I. D. A. A., & Hermana, J. (2024). Transition of greenhouse gas emission reduction from the management of municipal solid waste in Surabaya, Indonesia: Assessment on past and future prospective conditions. *Case Studies in Chemical and Environmental Engineering*, 10. <https://doi.org/10.1016/j.csee.2024.100995>
- Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia. (2022). Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Dan Kehutanan Republik Indonesia Nomor 6 Tahun 2022 Tentang Sistem Informasi Pengelolaan Sampah Nasional. In *Sistem Informasi Pengelolaan Sampah Nasional*.
- Metode Pengambilan Dan Pengukuran Contoh Timbulan Dan Komposisi Sampah Perkotaan (SNI 19-3964-1994) (1994).
- Nindita, V., Widiastuti, K., & Supriyadi, S. (2022). Analysis of CO₂ and CH₄ Emission from Domestic Waste in Open Space Benda Dhuwur Campus UPGRIS Semarang. *International Journal of Sustainable Building, Infrastructure and Environment (IJOSBIE)*, 3(1). <https://doi.org/10.26877/ijosbie.v3i1.9785>
- Nordahl, S. L., Devkota, J. P., Amirebrahimi, J., Smith, S. J., Breunig, H. M., Preble, C. V., Satchwell, A. J., Jin, L., Brown, N. J., Kirchstetter, T. W., & Scown, C. D. (2020). Life-Cycle Greenhouse Gas Emissions and Human Health Trade-Offs of Organic Waste Management Strategies. *Environmental Science and Technology*, 54(15), 9200–9209. <https://doi.org/10.1021/acs.est.0c00364>
- Nordahl, S. L., Preble, C. V., Kirchstetter, T. W., & Scown, C. D. (2023). Greenhouse Gas and Air Pollutant Emissions from Composting. *Environmental Science & Technology*, 57(6), 2235–2247. <https://doi.org/10.1021/acs.est.2c05846>
- Pipatti, R., Joao Wagner, S., & Carlos López, C. (2019). *IPCC 2019 Volume 5 Chapter 4 (Biological Treatment of Solid Waste)*.
- Rahendaputri, C. S., Endrawati, B. F., Djafar, A., Sutakin, M. U., Gunawan, A. I., Hizbullah, Moh. N., Armida, G., Savera, A., & Dzulfika, M. R. (2024). Analisis Preferensi dan Partisipasi Civitas Akademik Institut Teknologi Kalimantan Dalam Pemilahan Sampah. *SPECTA Journal of Technology*, 8(2), 83–90. <https://doi.org/10.35718/specta.v8i2.1043>
- Rahmawati Sulistiyorini, N., Sapudin Darwis, R., & Surya Gutama, A. (2015). *Partisipasi Masyarakat Dalam Pengelolaan Sampah di Lingkungan Margaluyu Kelurahan Cicurug*.
- Retariandalas, A. P. (2021). *Studi Timbulan, Komposisi Dan Karakteristik Sampah Sebagai Dasar Pengelolaan Sampah Kampus Untuk Mewujudkan Kampus Berkelanjutan (Sustainability Campus)*. <https://www.antaraneews.com>
- Rini, I. D. W. S., Yani, F. H., & Hayati, R. N. (2023). Evaluasi Pengelolaan Sampah di Kelurahan Baru Tengah. *SPECTA Journal of Technology*, 7(2), 516–523. <https://doi.org/10.35718/specta.v7i2.828>
- Sirintornthep, T., Sergii, S., & Qingxian, G. (2019). *IPCC 2019 Chapter 2: Waste Generation, Composition and Management Data*.
- Sirintornthep Towprayoon, Seungdo Kim, Eui-Chan Jeon, Tomonori Ishigaki, & Seini Nouhou Amadou. (2019). *IPCC 2019 Volume 5 Chapter 5 (Incineration and Open Burning of Waste)*.

- Utomo, D. W., Syahputra, A. I., Irawati, I., Alim, M. S., Amalia, C., & Sidik, E. J. (2024). Pengolahan Limbah Padat Menggunakan Teknologi Incinerator di Desa Pulo Ampel Kabupaten Serang Provinsi Banten. *Jurnal Ilmiah Pangabdhi*, 10(1), 8–12. <https://doi.org/10.21107/pangabdhi.v10i1.11428>
- Wahyudi, J. (2019). Emisi Gas Rumah Kaca (GRK) Dari Pembakaran Terbuka Sampah Rumah Tangga Menggunakan Model IPCC. *Jurnal Litbang: Media Informasi Penelitian, Pengembangan Dan IPTEK*, 15(1), 65–76. <https://doi.org/10.33658/jl.v15i1.132>
- Wardhani, M. K., Harto, A. D., Ilmu, P., Fakultas, K., Universitas, P., Madura, T., Lingkungan, K. D., Provinsi, H., & Timur, J. (2018). *Studi Komparasi Pengurangan Timbulan Sampah Berbasis Masyarakat Menggunakan Prinsip Bank Sampah di Surabaya, Gresik dan Sidoarjo*. 11(1), 52–63. <http://journal.trunojoyo.ac.id/pamator>