Jurnal Lingkungan Nusantara (JLN)
Vol. 3, No. 1, Februari 2026, Hal. 23–34
e-ISSN: xxxx-xxxx

# Life Cycle Assessment of Methane Emission Reduction through Composting and Methane Capture at Bukit Tunggal Landfill, Palangka Raya

# *Life Cycle Assessment* Penurunan Emisi Metana melalui *Composting* dan *Methane Capture* di TPA Bukit Tunggal Palangka Raya

Tegar Pratama[1*]
[1]Program Studi Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Palangkaraya, Palangka Raya, Indonesia
*surel: pratamategar@gmail.com

***ABSTRACT***

Population growth increases municipal solid waste and landfill methane ($CH_4$) emissions. This study estimated methane emissions from Bukit Tunggal Landfill, Palangka Raya, and compared controlled landfill, composting, and methane capture scenarios using a Life Cycle Assessment (LCA) inventory approach. Primary data came from observation and interviews with the landfill unit and the city Environmental Agency; secondary data comprised population statistics and waste composition. Population was projected for 2025–2045 with the geometric method, waste generation was calculated at 0.5 kg/capita/day, and methane was modelled with LandGEM 3.02 ($k = 0.05$ yr$^{-1}$, $L_0 = 170$ m$^3$/Mg). Population grows from 334,273 (2025) to 603,734 (2045), raising waste from 59,501 to 107,465 tonnes/year; food waste dominates (41.80%). Methane generation rises from 782 Mg (2026) to a peak of 2,881 Mg/year after closure in 2045. Over 2026–2100, cumulative emissions of 90.5 thousand Mg $CH_4$ (2.53 Mt $CO_2$e) under controlled landfill are reduced by 45.4% through gradual composting, 75.0% through methane capture, and 85.0% by combining both. Source-separated composting combined with methane capture is recommended.

***Keywords*:**
Landfill methane,
LandGEM,
Life cycle assessment,
Composting,
Methane capture
Received: February 2026
Reviewed: February 2026
Published: February 2026

**ABSTRAK**

Pertumbuhan penduduk meningkatkan timbulan sampah dan emisi metana ($CH_4$) dari TPA. Penelitian ini mengestimasi emisi metana TPA Bukit Tunggal, Palangka Raya, serta membandingkan skenario *controlled landfill*, *composting*, dan *methane capture* dengan pendekatan inventarisasi *Life Cycle Assessment* (LCA). Data primer diperoleh melalui observasi dan wawancara dengan UPTD TPA dan Dinas Lingkungan Hidup, sedangkan data sekunder berupa data kependudukan dan komposisi sampah. Penduduk diproyeksikan untuk 2025–2045 dengan metode geometrik, timbulan dihitung 0,5 kg/orang/hari, dan metana dimodelkan dengan LandGEM 3.02 ($k = 0{,}05$ tahun$^{-1}$, $L_0 = 170$ m$^3$/Mg). Penduduk meningkat dari 334.273 (2025) menjadi 603.734 jiwa (2045) sehingga timbulan naik dari 59.501 menjadi 107.465 ton/tahun; sisa makanan dominan (41,80%). Produksi metana meningkat dari 782 Mg (2026) hingga puncak 2.881 Mg/tahun setelah penutupan TPA pada 2045. Selama 2026–2100, emisi kumulatif 90,5 ribu Mg $CH_4$ (2,53 juta ton $CO_2$e) pada *controlled landfill* dapat diturunkan 45,4% melalui *composting* bertahap, 75,0% melalui *methane capture*, dan 85,0% melalui kombinasi keduanya. Kombinasi pengomposan berbasis pemilahan di sumber dan *methane capture* direkomendasikan.

**Kata Kunci:**
Metana TPA,
LandGEM,
*Life cycle assessment*,
*Composting*,
*Methane capture*
Diterima: Februari 2026
Direview: Februari 2026
Dipublikasi: Februari 2026

© 2026 The Authors. Published by Researches and Community Services JANTOS CV. This is Open Access article under the CC-BY-SA License (https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/).

## PENDAHULUAN

Pertumbuhan penduduk perkotaan berdampak langsung terhadap peningkatan timbulan sampah dan tekanan terhadap sistem pengelolaan sampah. Secara global, timbulan sampah kota diperkirakan terus meningkat seiring urbanisasi dan pertumbuhan ekonomi, dan sebagian besar masih berakhir di tempat penimbunan [1]. Sampah yang ditimbun tanpa pengolahan memadai berpotensi mencemari tanah dan air melalui lindi, serta menghasilkan gas rumah kaca, terutama metana ($CH_4$), dari dekomposisi anaerobik sampah organik [2], [3]. Metana memiliki potensi pemanasan global sekitar 28 kali karbon dioksida dalam jangka 100 tahun [4], sehingga sektor persampahan menjadi salah satu sumber emisi penting yang perlu dikendalikan [5], [6].

Di Indonesia, pengelolaan sampah diatur dalam Undang-Undang Nomor 18 Tahun 2008 yang mewajibkan pengurangan dan penanganan sampah secara terpadu [7], serta Peraturan Presiden Nomor 97 Tahun 2017 yang menargetkan pengurangan sampah 30% dan penanganan 70% pada tahun 2025 [8]. Penyelenggaraan prasarana persampahan, termasuk pengoperasian TPA, diatur lebih lanjut dalam Peraturan Menteri Pekerjaan Umum Nomor 03/PRT/M/2013 [9].

TPA Bukit Tunggal di Kecamatan Jekan Raya, Kota Palangka Raya, dengan luas sekitar 10 hektare merupakan fasilitas pemrosesan akhir utama bagi sampah kota. Jumlah penduduk Kota Palangka Raya pada tahun 2024 sekitar 325 ribu jiwa dan terus meningkat [10]. Pertambahan penduduk merupakan faktor utama yang mendorong peningkatan timbulan sampah dan emisi dari kegiatan pengelolaan sampah di perkotaan [11]. Pengelolaan di TPA yang masih didominasi sistem *controlled landfill* menyebabkan gas metana yang terbentuk dilepaskan langsung ke atmosfer tanpa dimanfaatkan, sehingga diperlukan kajian untuk mengestimasi emisi metana sekaligus mengevaluasi alternatif pengelolaan yang lebih berkelanjutan.

Estimasi emisi gas TPA dapat dilakukan menggunakan *Landfill Gas Emissions Model* (LandGEM) dari U.S. Environmental Protection Agency yang didasarkan pada persamaan peluruhan orde pertama [12]. Model ini telah digunakan di Indonesia, antara lain untuk menganalisis emisi $CH_4$ dan potensi energi di TPA Muara Fajar 2 Kota Pekanbaru [13]. Sementara itu, *Life Cycle Assessment* (LCA) merupakan metode untuk menilai beban lingkungan suatu sistem melalui inventarisasi masukan dan keluaran di sepanjang siklus hidupnya [14] dan banyak digunakan untuk membandingkan skenario pengelolaan sampah [15], [16]. Penelitian ini bertujuan untuk: (1) mengestimasi emisi metana di TPA Bukit Tunggal menggunakan LandGEM berdasarkan proyeksi penduduk dan timbulan sampah hingga tahun 2045; dan (2) membandingkan beban emisi skenario *controlled landfill*, *composting*, dan *methane capture* menggunakan pendekatan inventarisasi LCA.

## METODOLOGI

### *Lokasi dan Waktu Penelitian*

Penelitian dilaksanakan di TPA Bukit Tunggal, Kecamatan Jekan Raya, Kota Palangka Raya, Provinsi Kalimantan Tengah, pada koordinat 2°08′07,1″ LS dan 113°48′42,4″ BT (Gambar 1), selama Desember 2025 hingga Februari 2026. Kondisi lapangan dan kegiatan pengumpulan data ditunjukkan pada Gambar 2.




Gambar 1. Peta lokasi TPA Bukit Tunggal, Kota Palangka Raya




Gambar 2. Dokumentasi penelitian: (a) wawancara dengan petugas TPA, (b) pipa penangkap gas metana, (c) sel sampah yang aktif

***Jenis dan Sumber Data***

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif dengan metode deskriptif-analitis. Data primer diperoleh melalui observasi lapangan dan wawancara dengan Kepala UPTD TPA Bukit Tunggal serta Dinas Lingkungan Hidup (DLH) Kota Palangka Raya menggunakan pedoman wawancara pada Tabel 1. Data sekunder meliputi jumlah penduduk Kota Palangka Raya dari BPS [10] serta data komposisi sampah tahun 2024 dari Sistem Informasi Pengelolaan Sampah Nasional [17]. Perangkat yang digunakan meliputi komputer dengan LandGEM versi 3.02 dan *spreadsheet*, serta telepon genggam dan alat tulis untuk dokumentasi.

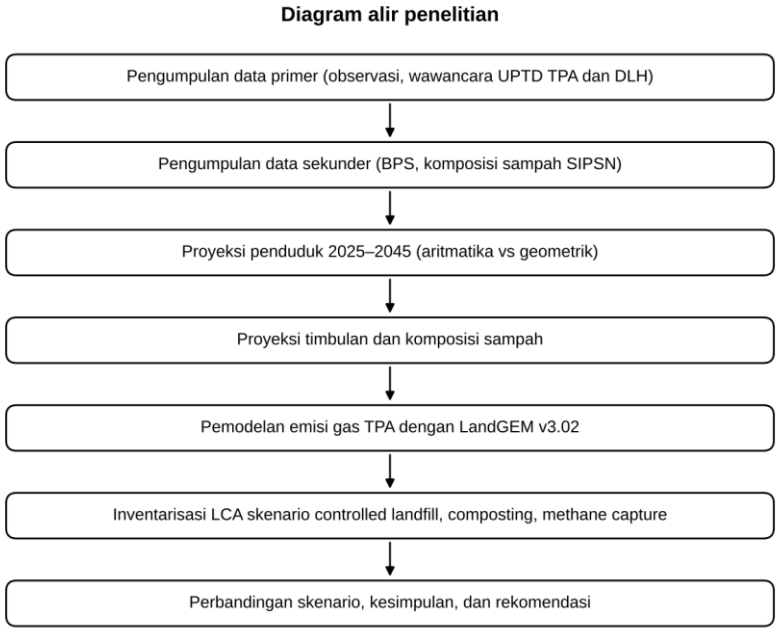
Tabel 1. Pedoman wawancara pengumpulan data primer

| No. | Narasumber | Variabel | Pertanyaan pokok |
|---|---|---|---|
| 1 | UPTD TPA Bukit Tunggal | Kondisi TPA | Jumlah sampah yang masuk setiap tahun (2014–2024) |
| 2 | UPTD TPA Bukit Tunggal | Penanganan sampah di TPA | Sistem yang digunakan dalam penanganan sampah di TPA |
| 3 | DLH Kota Palangka Raya | Pertumbuhan penduduk | Tanggapan DLH terhadap pertambahan penduduk dan dampaknya terhadap timbulan sampah yang masuk ke TPA |

| No. | Narasumber | Variabel | Pertanyaan pokok |
|---|---|---|---|
| 4 | DLH Kota Palangka Raya | Penanganan sampah kota | Sistem penanganan sampah dan upaya DLH mengurangi residu sampah |
| 5 | DLH Kota Palangka Raya | Pengelolaan sampah di TPA | Sistem pengelolaan sampah di TPA Bukit Tunggal |

***Prosedur Penelitian***

Tahapan penelitian ditunjukkan pada Gambar 3. Proyeksi penduduk tahun 2025–2045 dihitung menggunakan metode aritmatika dan geometrik, kemudian dipilih metode dengan simpangan baku terkecil dan koefisien korelasi yang paling mendekati 1, yaitu metode geometrik menurut (1).




Gambar 3. Diagram alir penelitian

$$P_t = P_0 (1 + r)^t \quad (1)$$

dengan $P_t$ adalah jumlah penduduk pada tahun ke-$t$ (jiwa), $P_0$ jumlah penduduk tahun dasar (jiwa), $r$ laju pertumbuhan penduduk per tahun, dan $t$ selisih tahun. Timbulan sampah dihitung dengan mengalikan jumlah penduduk dengan laju timbulan 0,5 kg/orang/hari dan dikonversi ke ton/tahun, kemudian dipilah berdasarkan komposisi sampah tahun 2024.

Produksi metana tahunan dihitung menggunakan persamaan peluruhan orde pertama LandGEM [12] menurut (2).

$$Q_{CH4} = \Sigma_{i=1}^{n} \Sigma_{j=0,1}^{1} k L_0 (M_i/10) e^{-k t_{ij}} \quad (2)$$

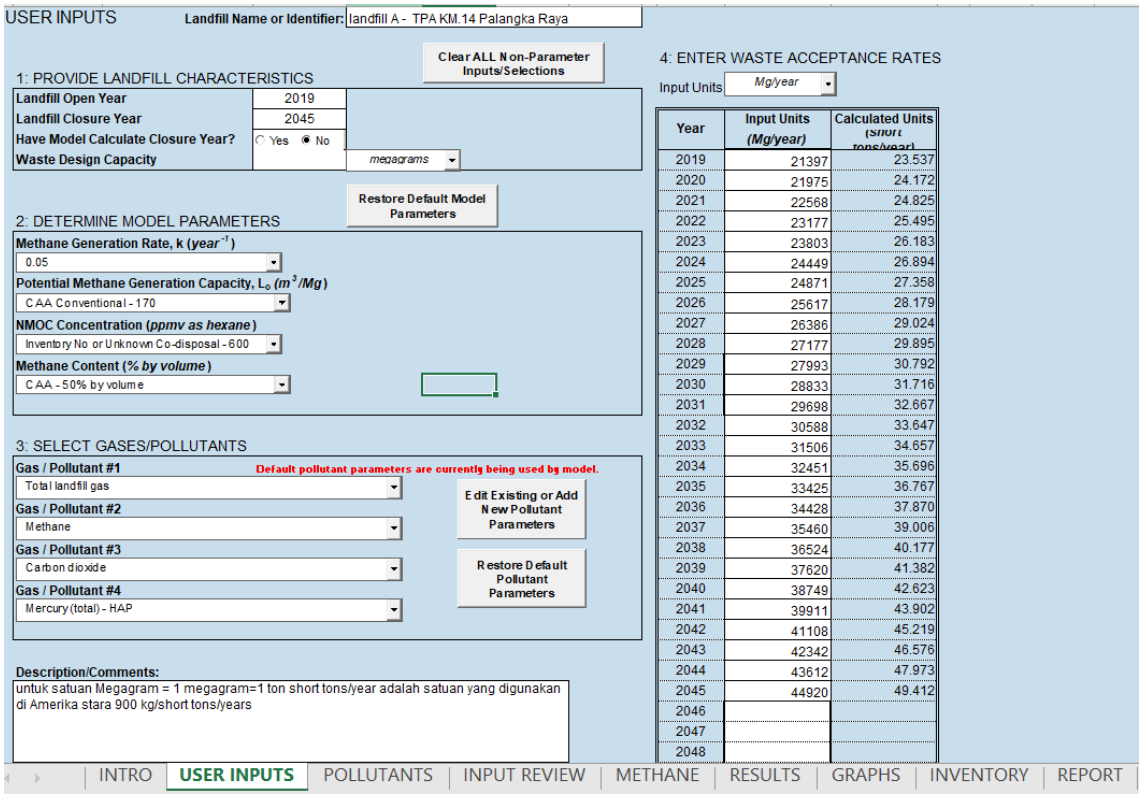
dengan $Q_{CH4}$ adalah produksi metana tahunan ($m^3$/tahun), $k$ konstanta laju pembentukan metana (tahun$^{-1}$), $L_0$ potensi pembentukan metana ($m^3$/Mg), $M_i$ massa sampah yang diterima pada tahun ke-$i$ (Mg), dan $t_{ij}$ umur bagian ke-$j$ dari massa sampah $M_i$ (tahun). Parameter masukan LandGEM disajikan pada Tabel 2 dan Gambar 4. Massa masukan berupa fraksi sisa makanan (41,80%) dari proyeksi timbulan sampah, yaitu 21.397 Mg pada tahun 2019 hingga 44.920 Mg pada tahun 2045.

Tabel 2. Parameter masukan LandGEM

| Parameter | Nilai | Keterangan |
|---|---|---|
| Tahun pembukaan sel | 2019 | Data TPA |
| Tahun penutupan | 2045 | Akhir periode proyeksi |
| Konstanta laju pembentukan metana ($k$) | 0,05 tahun$^{-1}$ | Nilai baku CAA *Conventional* |
| Potensi pembentukan metana ($L_0$) | 170 $m^3$/Mg | Nilai baku CAA *Conventional* |
| Konsentrasi NMOC | 600 ppmv sebagai heksana | *Inventory*, tanpa ko-disposal |
| Kadar metana | 50% volume | Nilai baku CAA |

| Parameter | Nilai | Keterangan |
|---|---|---|
| Massa sampah masuk | 21.397–44.920 Mg/tahun | Fraksi sisa makanan 41,80% |

Sumber: Pemodelan LandGEM v3.02 [12], 2026




Gambar 4. Tampilan masukan (*user inputs*) pada LandGEM v3.02 untuk TPA Bukit Tunggal

### *Skenario Inventarisasi LCA*

Analisis LCA dilakukan pada tahap inventarisasi (*life cycle inventory*) dengan unit fungsional pengelolaan sampah yang masuk ke TPA Bukit Tunggal. Batas sistem mencakup penimbunan sampah di TPA dan pengolahan sampah organik. Skenario yang dibandingkan adalah sebagai berikut:

1. **Controlled landfill** (kondisi eksisting): seluruh sampah ditimbun tanpa pengolahan dan tanpa penangkapan gas.
2. **Composting**: sampah organik dialihkan ke pengomposan dengan laju reduksi bertambah 5% per tahun mulai 2026, sehingga mencapai 100% pada tahun 2045. Massa sampah setelah reduksi dihitung dengan $W_{akhir} = W_{awal}\,(1 - R)$. Emisi $CH_4$ dari proses pengomposan dihitung dengan faktor emisi 4 g $CH_4$/kg sampah basah [5].
3. **Methane capture**: gas TPA ditangkap mulai tahun 2026 dengan efisiensi pengumpulan 75%, sesuai nilai tipikal sistem pengumpulan gas TPA [18], dan dimanfaatkan sebagai energi listrik.
4. **Kombinasi** *composting* dan *methane capture*.

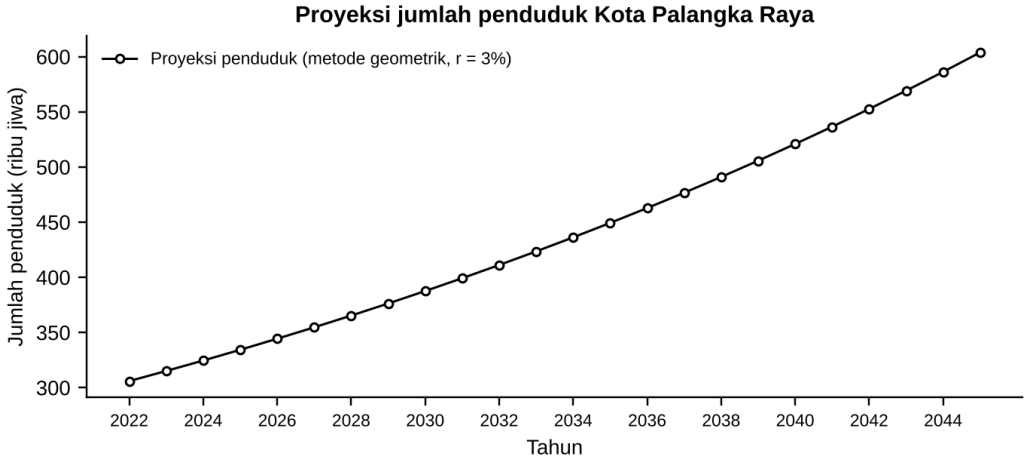
Potensi energi dihitung dengan asumsi 1 ton sampah organik menghasilkan 55 $m^3$ metana, nilai kalor 10 kWh/$m^3$, dan efisiensi konversi menjadi listrik 35%. Emisi metana dikonversi menjadi setara $CO_2$ menggunakan potensi pemanasan global 28 [4].

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### *Proyeksi Penduduk dan Timbulan Sampah*

Metode geometrik menghasilkan laju pertumbuhan penduduk sebesar 3% per tahun. Jumlah penduduk Kota Palangka Raya diproyeksikan meningkat dari 334.273 jiwa pada tahun 2025 menjadi 449.235 jiwa pada tahun 2035 dan 603.734 jiwa pada tahun 2045, atau bertambah sekitar

80,6% selama 20 tahun (Gambar 5). Peningkatan ini dipengaruhi pertumbuhan alami dan migrasi, mengingat Palangka Raya merupakan ibu kota provinsi sekaligus pusat pemerintahan, pendidikan, dan perdagangan di Kalimantan Tengah. Berdasarkan wawancara dengan DLH, pertambahan penduduk berdampak langsung terhadap meningkatnya sampah yang masuk ke TPA.



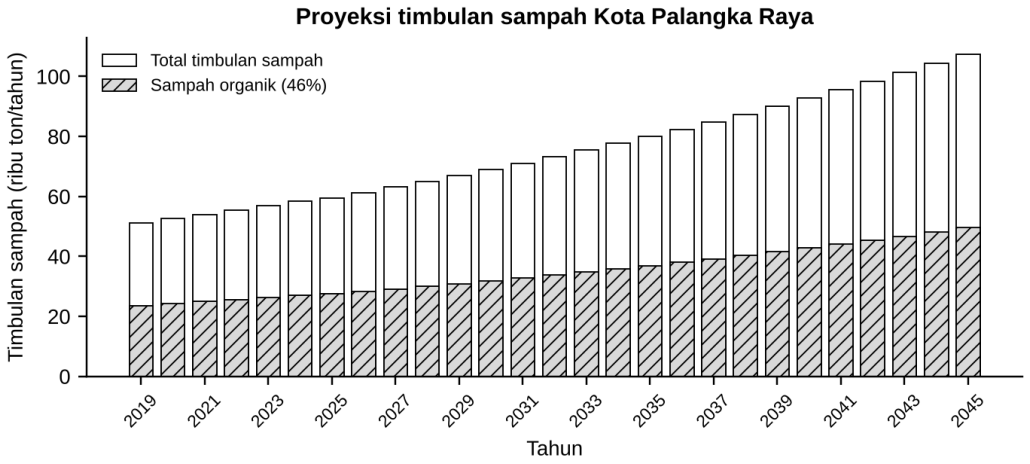

Gambar 5. Proyeksi jumlah penduduk Kota Palangka Raya tahun 2022–2045

Seiring pertambahan penduduk, timbulan sampah diproyeksikan meningkat dari 51.189 ton/tahun pada tahun 2019 menjadi 59.501 ton/tahun pada tahun 2025 dan 107.465 ton/tahun pada tahun 2045, dengan fraksi organik (sisa makanan dan kayu, 46%) meningkat dari 23.613 menjadi 49.573 ton/tahun (Tabel 3 dan Gambar 6). Peningkatan ini menuntut kesiapan kapasitas TPA serta strategi pengurangan sampah sejak dari sumber.

Tabel 3. Proyeksi penduduk, timbulan sampah, dan sampah organik Kota Palangka Raya tahun 2019–2045

| Tahun | Penduduk (jiwa) | Timbulan (ton/tahun) | Organik (ton/tahun) | Tahun | Penduduk (jiwa) | Timbulan (ton/tahun) | Organik (ton/tahun) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 2019 | 266.020 | 51.189 | 23.613 | 2033 | 423.447 | 75.374 | 34.770 |
| 2020 | 293.500 | 52.571 | 24.251 | 2034 | 436.150 | 77.635 | 35.813 |
| 2021 | 298.954 | 53.990 | 24.906 | 2035 | 449.235 | 79.964 | 36.887 |
| 2022 | 305.907 | 55.448 | 25.578 | 2036 | 462.712 | 82.363 | 37.994 |
| 2023 | 315.084 | 56.945 | 26.269 | 2037 | 476.593 | 84.834 | 39.134 |
| 2024 | 324.537 | 58.491 | 26.982 | 2038 | 490.891 | 87.379 | 40.308 |
| 2025 | 334.273 | 59.501 | 27.448 | 2039 | 505.618 | 90.000 | 41.517 |
| 2026 | 344.301 | 61.286 | 28.271 | 2040 | 520.786 | 92.700 | 42.762 |
| 2027 | 354.630 | 63.124 | 29.119 | 2041 | 536.410 | 95.481 | 44.045 |
| 2028 | 365.269 | 65.018 | 29.993 | 2042 | 552.502 | 98.345 | 45.367 |
| 2029 | 376.227 | 66.968 | 30.893 | 2043 | 569.077 | 101.296 | 46.728 |
| 2030 | 387.514 | 68.977 | 31.819 | 2044 | 586.149 | 104.335 | 48.130 |
| 2031 | 399.139 | 71.047 | 32.774 | 2045 | 603.734 | 107.465 | 49.573 |
| 2032 | 411.113 | 73.178 | 33.757 | | | | |

Sumber: BPS [10] dan hasil perhitungan, 2026




Gambar 6. Proyeksi timbulan sampah total dan sampah organik Kota Palangka Raya tahun 2019–2045

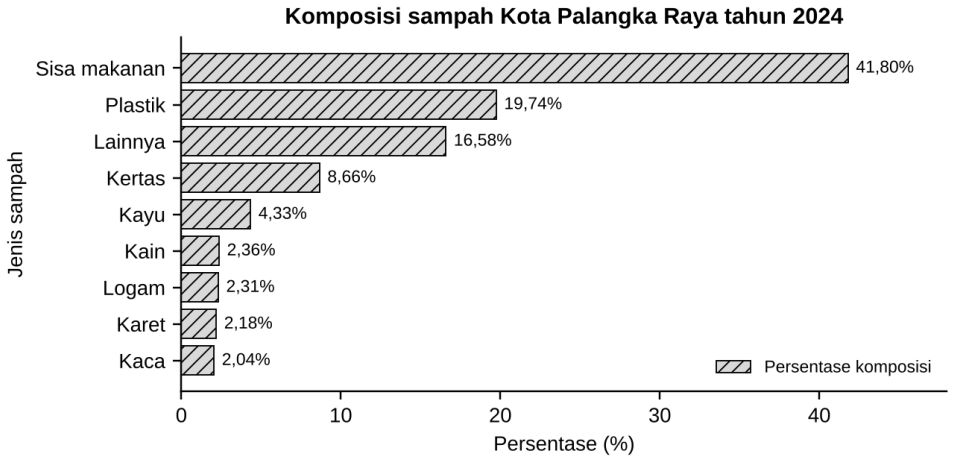
***Komposisi Sampah***

Komposisi sampah Kota Palangka Raya tahun 2024 disajikan pada Tabel 4 dan Gambar 7. Sampah sisa makanan merupakan komponen terbesar (41,80%), diikuti plastik (19,74%) dan kertas (8,66%). Dominasi sampah organik yang mudah terurai menjadi faktor utama tingginya potensi pembentukan metana di TPA [3], sekaligus menunjukkan peluang besar penerapan pengolahan biologis seperti pengomposan. Sebaliknya, sampah anorganik seperti plastik memerlukan pemilahan dan daur ulang agar tidak membebani kapasitas TPA.

Tabel 4. Komposisi sampah Kota Palangka Raya tahun 2024 dan massa tiap komponen tahun 2026

| No. | Jenis sampah | Persentase (%) | Massa tahun 2026 (ton) |
|---|---|---|---|
| 1 | Sisa makanan | 41,80 | 25.617 |
| 2 | Plastik | 19,74 | 12.098 |
| 3 | Kertas | 8,66 | 5.307 |
| 4 | Kayu | 4,33 | 2.654 |
| 5 | Kain | 2,36 | 1.446 |
| 6 | Logam | 2,31 | 1.416 |
| 7 | Karet | 2,18 | 1.336 |
| 8 | Kaca | 2,04 | 1.250 |
| 9 | Lainnya | 16,58 | 10.161 |
| | Total | 100,00 | 61.285 |

Sumber: SIPSN [17] dan hasil perhitungan, 2026




Gambar 7. Komposisi sampah Kota Palangka Raya tahun 2024

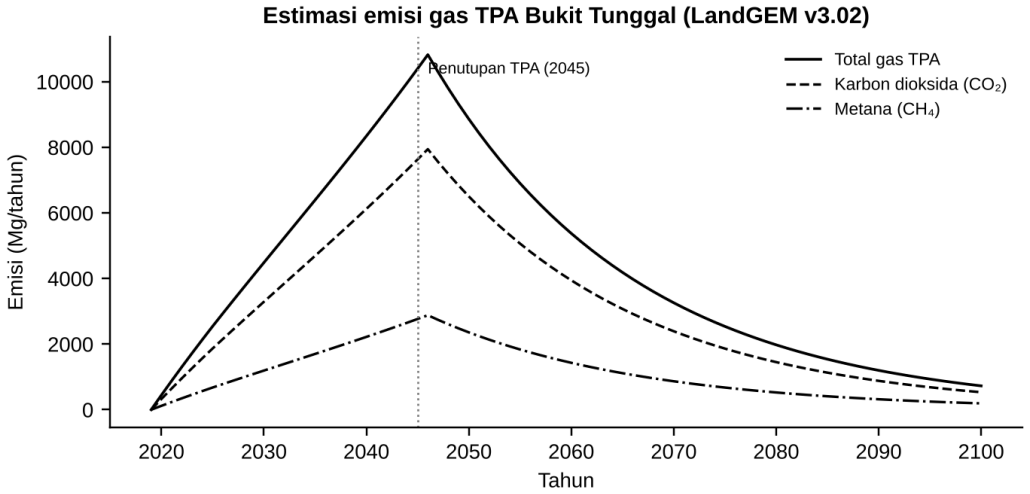
***Estimasi Emisi Gas TPA dengan LandGEM***

Hasil pemodelan LandGEM disajikan pada Tabel 5 dan Gambar 8. Produksi metana meningkat seiring bertambahnya massa sampah yang tertimbun, dari 118,6 Mg pada tahun 2020 menjadi 782,0 Mg pada tahun 2026, 1.701,5 Mg pada tahun 2035, dan 2.766,7 Mg pada tahun 2045. Setelah TPA ditutup pada tahun 2045, produksi metana mencapai puncak sekitar 2.881 Mg/tahun pada tahun 2046, kemudian menurun secara eksponensial karena tidak ada lagi sampah baru, sementara bahan organik yang mudah terurai semakin berkurang. Pola ini sesuai dengan karakteristik dekomposisi anaerobik, di mana produksi gas mencapai puncak sesaat setelah penimbunan berakhir [12], [3]. Gas metana yang terbentuk saat ini sebagian telah dialirkan melalui pipa gas pada sel sampah (Gambar 2b), tetapi belum dimanfaatkan sebagai energi.

Tabel 5. Hasil pemodelan LandGEM untuk TPA Bukit Tunggal (kadar metana 50%)

| Tahun | Sampah masuk (Mg/tahun) | Sampah tertimbun (Mg) | $CH_4$ (Mg/tahun) | $CH_4$ ($m^3$/tahun) | Total gas TPA ($m^3$/tahun) |
|---|---|---|---|---|---|
| 2019 | 21.397 | 0 | 0,0 | 0 | 0 |
| 2020 | 21.975 | 21.397 | 118,6 | $1{,}778 \times 10^5$ | $3{,}557 \times 10^5$ |
| 2021 | 22.568 | 43.372 | 234,7 | $3{,}518 \times 10^5$ | $7{,}036 \times 10^5$ |
| 2022 | 23.177 | 65.940 | 348,3 | $5{,}222 \times 10^5$ | $1{,}044 \times 10^6$ |
| 2023 | 23.803 | 89.117 | 459,8 | $6{,}894 \times 10^5$ | $1{,}379 \times 10^6$ |
| 2024 | 24.449 | 112.920 | 569,4 | $8{,}536 \times 10^5$ | $1{,}707 \times 10^6$ |
| 2025 | 24.871 | 137.369 | 677,2 | $1{,}015 \times 10^6$ | $2{,}030 \times 10^6$ |
| 2026 | 25.617 | 162.240 | 782,0 | $1{,}172 \times 10^6$ | $2{,}345 \times 10^6$ |
| 2027 | 26.386 | 187.857 | 885,9 | $1{,}328 \times 10^6$ | $2{,}656 \times 10^6$ |
| 2028 | 27.177 | 214.243 | 989,0 | $1{,}483 \times 10^6$ | $2{,}965 \times 10^6$ |
| 2029 | 27.993 | 241.420 | 1.091,4 | $1{,}636 \times 10^6$ | $3{,}273 \times 10^6$ |
| 2030 | 28.833 | 269.413 | 1.193,4 | $1{,}789 \times 10^6$ | $3{,}578 \times 10^6$ |
| 2031 | 29.698 | 298.246 | 1.295,0 | $1{,}942 \times 10^6$ | $3{,}883 \times 10^6$ |
| 2032 | 30.588 | 327.944 | 1.396,5 | $2{,}094 \times 10^6$ | $4{,}187 \times 10^6$ |
| 2033 | 31.506 | 358.532 | 1.498,0 | $2{,}246 \times 10^6$ | $4{,}492 \times 10^6$ |
| 2034 | 32.451 | 390.038 | 1.599,6 | $2{,}398 \times 10^6$ | $4{,}796 \times 10^6$ |
| 2035 | 33.425 | 422.489 | 1.701,5 | $2{,}551 \times 10^6$ | $5{,}102 \times 10^6$ |
| 2036 | 34.428 | 455.914 | 1.803,8 | $2{,}704 \times 10^6$ | $5{,}409 \times 10^6$ |
| 2037 | 35.460 | 490.342 | 1.906,7 | $2{,}859 \times 10^6$ | $5{,}717 \times 10^6$ |
| 2038 | 36.524 | 525.802 | 2.010,3 | $3{,}014 \times 10^6$ | $6{,}028 \times 10^6$ |
| 2039 | 37.620 | 562.326 | 2.114,7 | $3{,}171 \times 10^6$ | $6{,}341 \times 10^6$ |
| 2040 | 38.749 | 599.946 | 2.220,2 | $3{,}329 \times 10^6$ | $6{,}657 \times 10^6$ |
| 2041 | 39.911 | 638.695 | 2.326,7 | $3{,}488 \times 10^6$ | $6{,}977 \times 10^6$ |
| 2042 | 41.108 | 678.606 | 2.434,5 | $3{,}650 \times 10^6$ | $7{,}300 \times 10^6$ |
| 2043 | 42.342 | 719.714 | 2.543,7 | $3{,}814 \times 10^6$ | $7{,}627 \times 10^6$ |
| 2044 | 43.612 | 762.056 | 2.654,3 | $3{,}980 \times 10^6$ | $7{,}959 \times 10^6$ |
| 2045 | 44.920 | 805.668 | 2.766,7 | $4{,}148 \times 10^6$ | $8{,}296 \times 10^6$ |
| 2046[a] | 0 | 850.588 | 2.880,8 | $4{,}319 \times 10^6$ | $8{,}638 \times 10^6$ |

Sumber: Hasil pemodelan LandGEM v3.02, 2026. [a]Tahun puncak setelah penutupan TPA




Gambar 8. Estimasi emisi total gas TPA, karbon dioksida, dan metana TPA Bukit Tunggal tahun 2019–2100

Dengan potensi pemanasan global metana sebesar 28 [4], emisi metana tahun 2026 setara dengan sekitar 21,9 ribu ton $CO_2e$, dan pada saat puncak setara dengan sekitar 80,7 ribu ton $CO_2e$ per tahun. Hasil ini menunjukkan bahwa tanpa intervensi, TPA Bukit Tunggal akan menjadi sumber emisi gas rumah kaca yang signifikan di Kota Palangka Raya. Temuan ini sejalan dengan Sasmita dkk. [13] yang menunjukkan bahwa TPA dengan dominasi sampah organik memiliki potensi metana sekaligus potensi energi yang besar.

***Inventarisasi Skenario Pengelolaan (Life Cycle Inventory)***

Inventarisasi masukan dan keluaran pada tahun 2026 disajikan pada Tabel 6 dan Tabel 7. Pada skenario *controlled landfill*, seluruh 61.285 ton sampah ditimbun tanpa pengolahan. Sisa makanan sebanyak 25.617 ton memiliki potensi energi listrik sekitar 4.931.272 kWh, tetapi potensi tersebut tidak dimanfaatkan dan metana yang terbentuk lepas langsung ke atmosfer. Pada skenario *composting*, sampah organik (sisa makanan dan kayu) berjumlah 28.271 ton dengan potensi energi 5.442.168 kWh; sebanyak 5% atau 1.414 ton dialihkan ke pengomposan pada tahun 2026, setara dengan potensi energi 272.195 kWh/tahun yang tidak lagi diubah menjadi metana di TPA.

Tabel 6. Inventarisasi skenario *controlled landfill* tahun 2026

| Masukan | Kuantitas | Satuan | Keluaran | Kuantitas | Satuan |
|---|---|---|---|---|---|
| Sisa makanan | 25.617 | ton | Potensi energi (tidak dimanfaatkan) | 4.931.272 | kWh |
| Kayu | 2.654 | ton | Residu | 2.407.668,3 | kg |
| Plastik | 12.098 | ton | | | |
| Kertas | 5.307 | ton | | | |
| Kain | 1.446 | ton | | | |
| Karet | 1.336 | ton | | | |
| Kaca | 1.250 | ton | | | |
| Logam | 1.416 | ton | | | |
| Lainnya | 10.161 | ton | | | |
| Total | 61.285 | ton | | | |

Sumber: Hasil perhitungan, 2026

Tabel 7. Inventarisasi skenario *composting* tahun 2026

| Masukan | Kuantitas | Satuan | Keluaran | Kuantitas | Satuan |
|---|---|---|---|---|---|
| Sampah organik | 28.271 | ton | Potensi energi sampah organik | 5.442.168 | kWh |
| Composting (5%) | 1.414 | ton | Potensi energi bagian terkompos | 272.195 | kWh/tahun |

Sumber: Hasil perhitungan, 2026

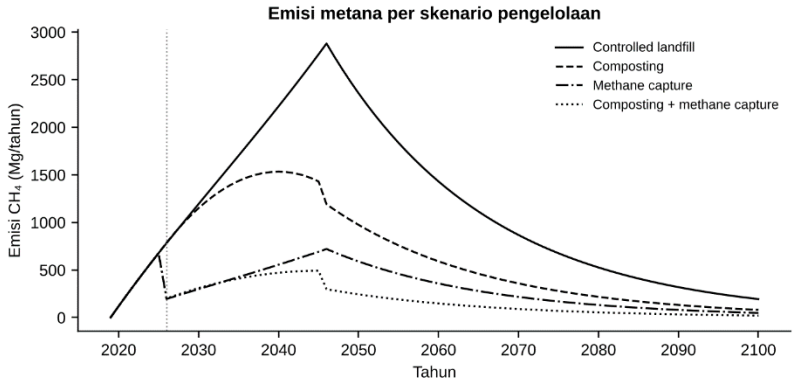
***Perbandingan Emisi Antarskenario***

Perbandingan emisi metana keempat skenario disajikan pada Tabel 8, Gambar 9, dan Gambar 10. Pada skenario *methane capture*, emisi turun 75% sejak tahun pertama karena sebagian besar gas dari timbunan lama maupun baru ditangkap sebelum terlepas ke atmosfer. Metana yang tertangkap pada tahun 2026 berpotensi menghasilkan listrik sekitar 3,08 GWh, meningkat menjadi 10,89 GWh pada tahun 2045, atau sekitar 138,6 GWh secara kumulatif selama 2026–2045. Skenario *composting* bekerja pada sisi pencegahan: dampaknya kecil pada tahun-tahun awal, bahkan emisi tahun 2026 sedikit lebih tinggi (787,1 Mg) karena emisi proses pengomposan muncul seketika sedangkan penurunan emisi TPA baru terasa beberapa tahun kemudian. Seiring meningkatnya porsi sampah yang dikompos, emisi skenario ini mencapai puncak sekitar tahun 2040 lalu menurun, sehingga emisi kumulatif 2026–2100 turun 45,4%.

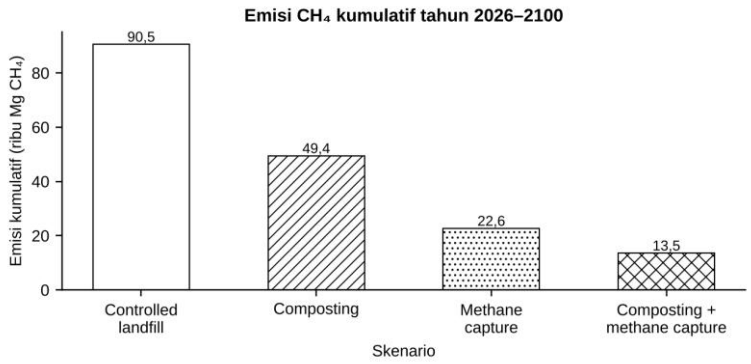
Tabel 8. Perbandingan emisi metana antarskenario pengelolaan sampah TPA Bukit Tunggal

| Skenario | $CH_4$ 2026 (Mg) | $CH_4$ 2045 (Mg) | Kumulatif 2026–2045 (Mg $CH_4$) | Kumulatif 2026–2100 (Mg $CH_4$) | Setara $CO_2$ 2026–2100 (kt) | Penurunan 2026–2100 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Controlled landfill | 782,0 | 2.766,7 | 35.214 | 90.505 | 2.534 | – |
| Composting | 787,1 | 1.430,8 | 26.557 | 49.399 | 1.383 | 45,4% |
| Methane capture | 195,5 | 691,7 | 8.803 | 22.626 | 634 | 75,0% |
| Composting + methane capture | 200,6 | 492,5 | 7.824 | 13.535 | 379 | 85,0% |

Sumber: Hasil perhitungan, 2026. Setara $CO_2$ dengan $GWP_{100}$ metana = 28 [4]




Gambar 9. Emisi metana tahunan pada setiap skenario pengelolaan tahun 2019–2100




Gambar 10. Emisi metana kumulatif setiap skenario tahun 2026–2100

Kombinasi *composting* dan *methane capture* menghasilkan emisi terendah, yaitu 13.535 Mg $CH_4$ selama 2026–2100 atau turun 85,0% dibandingkan *controlled landfill*. Kedua strategi bersifat saling melengkapi: *methane capture* mengendalikan gas dari timbunan sampah yang sudah ada, sedangkan *composting* mencegah terbentuknya metana dari sampah organik baru [6], [15]. Namun, *methane capture* membutuhkan investasi sumur dan pipa gas, penutupan sel, serta unit pembangkit, dan efektivitasnya bergantung pada efisiensi pengumpulan di lapangan [18]. Sementara itu, *composting* memerlukan pemilahan sampah organik dari sumber dan pasar bagi produk kompos.

Penelitian ini memiliki keterbatasan. Analisis LCA masih terbatas pada tahap inventarisasi dan belum mencakup penilaian dampak (*life cycle impact assessment*) untuk kategori lain seperti pencemaran air, konsumsi energi transportasi, dan emisi $N_2O$. Parameter LandGEM menggunakan nilai baku model yang belum dikalibrasi dengan pengukuran gas lapangan, masukan model hanya mencakup fraksi sisa makanan, dan efisiensi pengumpulan gas 75% merupakan asumsi. Oleh karena itu, hasil estimasi sebaiknya dipandang sebagai gambaran potensi yang perlu divalidasi dengan pengukuran fluks gas aktual di TPA.

## KESIMPULAN

Jumlah penduduk Kota Palangka Raya diproyeksikan meningkat dari 334.273 jiwa (2025) menjadi 603.734 jiwa (2045), sehingga timbulan sampah naik dari 59.501 menjadi 107.465 ton/tahun. Sampah didominasi sisa makanan (41,80%) yang menjadi sumber utama pembentukan metana. Pemodelan LandGEM menunjukkan produksi metana di TPA Bukit Tunggal meningkat dari 782 Mg pada tahun 2026 hingga mencapai puncak sekitar 2.881 Mg/tahun setelah penutupan TPA pada 2045, setara dengan sekitar 80,7 ribu ton $CO_2e$ per tahun.

Dibandingkan *controlled landfill* (90.505 Mg $CH_4$ selama 2026–2100), skenario *composting* bertahap menurunkan emisi kumulatif sebesar 45,4%, *methane capture* sebesar 75,0% dengan potensi listrik 3,08–10,89 GWh/tahun, dan kombinasi keduanya sebesar 85,0%. Kombinasi pengomposan berbasis pemilahan di sumber dan *methane capture* direkomendasikan sebagai strategi pengelolaan sampah yang paling optimal di TPA Bukit Tunggal. Penelitian lanjutan disarankan melakukan pengukuran fluks gas di lapangan untuk kalibrasi model dan melengkapi analisis dengan tahap penilaian dampak LCA.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Bapak Ir. Achmad Imam Santoso, S.T., M.Ling. selaku dosen pembimbing, kepada UPTD TPA Bukit Tunggal dan Dinas Lingkungan Hidup Kota Palangka Raya atas data dan informasi yang diberikan, serta kepada semua pihak yang telah membantu penyusunan artikel ini.

## REFERENSI

[1] S. Kaza, L. Yao, P. Bhada-Tata, and F. Van Woerden, *What a Waste 2.0: A Global Snapshot of Solid Waste Management to 2050*. Washington, DC, USA: World Bank, 2018, doi: 10.1596/978-1-4648-1329-0.

[2] G. Tchobanoglous, H. Theisen, and S. Vigil, *Integrated Solid Waste Management: Engineering Principles and Management Issues*. New York, NY, USA: McGraw-Hill, 1993.

[3] N. J. Themelis and P. A. Ulloa, "Methane generation in landfills," *Renew. Energy*, vol. 32, no. 7, pp. 1243–1257, 2007, doi: 10.1016/j.renene.2006.04.020.

[4] G. Myhre *et al.*, "Anthropogenic and natural radiative forcing," in *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, T. F. Stocker *et al.*, Eds. Cambridge, U.K.: Cambridge Univ. Press, 2013, pp. 659–740.

[5] Intergovernmental Panel on Climate Change, *2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Volume 5: Waste*. Hayama, Japan: IGES, 2006.

[6] J. Bogner *et al.*, "Mitigation of global greenhouse gas emissions from waste: Conclusions and strategies from the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) Fourth Assessment Report. Working Group III (Mitigation)," *Waste Manag. Res.*, vol. 26, no. 1, pp. 11–32, 2008, doi: 10.1177/0734242X07088433.

[7] Pemerintah Republik Indonesia, *Undang-Undang Nomor 18 Tahun 2008 tentang Pengelolaan Sampah*. Jakarta, Indonesia, 2008.

[8] Pemerintah Republik Indonesia, *Peraturan Presiden Nomor 97 Tahun 2017 tentang Kebijakan dan Strategi Nasional Pengelolaan Sampah Rumah Tangga dan Sampah Sejenis Sampah Rumah Tangga*. Jakarta, Indonesia, 2017.

[9] Kementerian Pekerjaan Umum, *Peraturan Menteri Pekerjaan Umum Nomor 03/PRT/M/2013 tentang Penyelenggaraan Prasarana dan Sarana Persampahan dalam Penanganan Sampah Rumah Tangga dan Sampah Sejenis Sampah Rumah Tangga*. Jakarta, Indonesia, 2013.

[10] Badan Pusat Statistik Kota Palangka Raya, *Kota Palangka Raya dalam Angka 2025*. Palangka Raya, Indonesia: BPS Kota Palangka Raya, 2025.

[11] F. B. Maziya, "Emisi gas rumah kaca (GRK) karbon dioksida ($CO_2$) kegiatan pengelolaan sampah Kecamatan Genteng Kota Surabaya," *Jukung (Jurnal Teknik Lingkungan)*, vol. 3, no. 2, 2017. [Online]. Available: https://ppjp.ulm.ac.id/journal/index.php/jukung/article/view/4022

[12] U.S. Environmental Protection Agency, "Landfill Gas Emissions Model (LandGEM) Version 3.02 User's Guide," U.S. EPA, Washington, DC, USA, Rep. EPA-600/R-05/047, 2005.

[13] A. Sasmita, J. Asmura, and B. Nurmaida, "Analisis emisi $CH_4$ dan potensi energi dari Tempat Pembuangan Akhir (TPA) Muara Fajar 2 Kota Pekanbaru," *Rekayasa*, vol. 15, no. 1, 2022. [Online]. Available: https://journal.trunojoyo.ac.id/rekayasa/article/view/13284

[14] International Organization for Standardization, *Environmental Management – Life Cycle Assessment – Principles and Framework*, ISO 14040:2006. Geneva, Switzerland: ISO, 2006.

[15] A. Laurent *et al.*, "Review of LCA studies of solid waste management systems – Part I: Lessons learned and perspectives," *Waste Manag.*, vol. 34, no. 3, pp. 573–588, 2014, doi: 10.1016/j.wasman.2013.10.045.

[16] F. Cherubini, S. Bargigli, and S. Ulgiati, "Life cycle assessment (LCA) of waste management strategies: Landfilling, sorting plant and incineration," *Energy*, vol. 34, no. 12, pp. 2116–2123, 2009, doi: 10.1016/j.energy.2008.08.023.

[17] Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan. (2025) Sistem Informasi Pengelolaan Sampah Nasional (SIPSN): Komposisi Sampah Kota Palangka Raya. [Online]. Available: https://sipsn.menlhk.go.id

[18] U.S. Environmental Protection Agency, "Municipal solid waste landfills," in *Compilation of Air Pollutant Emission Factors (AP-42)*, 5th ed., vol. I, ch. 2.4. Research Triangle Park, NC, USA: U.S. EPA, 1998.