



JURUSAN
TEKNIK LINGKUNGAN

TUGAS AKHIR

Analisis Life Cycle Assesment (LCA) Terhadap Upaya Pengurangan Gas Metana di TPA Rawa Kucing Kota Tangerang menggunakan Sistem Komposting, 3R, dan Methane Capture

Raina Salsabilla Rahmawati

21513057

Dosen Pembimbing:

Dr. Eng. Awaluddin Nurmiyanto, S.T., M.Eng

Dr. Ir. Hijrah Purnama Putra, S.T., M.Eng

Program Studi Teknik Lingkungan Program Sarjana

Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan

Universitas Islam Indonesia

2025



DEPARTMENT
ENVIRONMENTAL ENGINEERING

BACHELOR THESIS

Life Cycle Assessment of Methane Reduction Strategies at Rawa Kucing Landfill, Tangerang: Composting, 3R, and Methane Capture

Raina Salsabilla Rahmawati

21513057

Supervisor:

Dr. Eng. Awaluddin Nurmiyanto, S.T., M.Eng

Dr. Ir. Hijrah Purnama Putra, S.T., M.Eng

Environmental Engineering Bachelor Program

Faculty of Civil Engineering and Planning

Universitas Islam Indonesia

2025

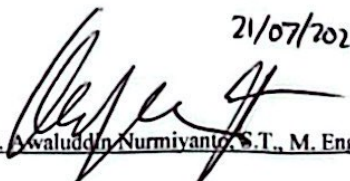
LEMBAR PENGESAHAN
TUGAS AKHIR

***Analisis Life Cycle Assessment (LCA) Terhadap Upaya Pengurangan Gas
Metana di TPA Rawa Kucing Kota Tangerang menggunakan Sistem
Komposting, 3R, dan Methane Capture***

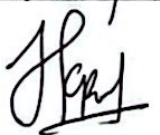
Tugas akhir ini disusun dan diajukan untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar Sarjana Teknik (S.T.) pada Program Studi Teknik Lingkungan Program Sarjana Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia.

RAINA SALSABILLA RAHMAWATI
21513057

Tugas akhir ini telah diuji pada tanggal 9 July 2025 dan disetujui oleh:

 21/07/2025
Dr. Eng. Awaluddin Nurmianto, S.T., M. Eng (Pembimbing 1)

 21/07/2025
Dr. Ir. Hijrah Purnama Putra, S.T., M. Eng (Pembimbing 2)

 21/07/2025
Ikrom Mustofa, S. Si., M. Sc. (Penguji 1)

Mengetahui,
Ketua Prodi Teknik Lingkungan Program Sarjana


Any Juliani, S.T., M.Sc.(Res.Eng.), Ph.D.

PERNYATAAN

Saya, penyusun tugas akhir ini, menyatakan bahwa:

1. Karya tulis ini adalah asli dan belum pernah diajukan untuk mendapatkan gelar akademik apapun, baik di Universitas Islam Indonesia, maupun di perguruan tinggi lainnya.
2. Karya tulis ini merupakan gagasan, rumusan, dan studi saya sendiri, tanpa bantuan pihak lain, kecuali arahan dosen pembimbing.
3. Dalam karya tulis ini tidak terdapat karya atau pendapat orang lain, kecuali secara tertulis dengan jelas dicantumkan sebagai acuan dalam naskah dengan disebutkan nama penulis dan dicantumkan dalam daftar pustaka.
4. Perangkat lunak atau program komputer yang digunakan dalam tugas akhir ini sepenuhnya menjadi tanggung jawab saya. Bukan tanggung jawab Universitas Islam Indonesia.
5. Tidak ada penggunaan kecerdasan buatan (*artificial intelligence*, AI) dalam penyusunan karya tugas akhir ini kecuali:
 - a. untuk membantu dalam kadar yang wajar (seperti membantu mengoreksi, mencari ide, dan mencari referensi), dan
 - b. tercantum dan dijelaskan perihal penggunaannya secara eksplisit di dalam karya tugas akhir ini.Implikasi dari penggunaan AI tersebut menjadi tanggung jawab saya sepenuhnya.
6. Pernyataan ini saya buat dengan sebenar-benarnya. Apabila di kemudian hari terdapat penyimpangan dan ketidakbenaran dalam pernyataan ini, saya bersedia menerima sanksi akademik dengan pencabutan gelar yang sudah diperoleh serta sanksi lainnya sesuai dengan norma yang berlaku di perguruan tinggi.

Yogyakarta, 22 July 2025

Yang membuat pernyataan,


Raina Salsabila Rahmawati
21513057

PRAKATA

Assalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh,

Segala puji dan syukur kehadiran Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir dengan Judul “Analisis *Life Cycle Assesment* (LCA) terhadap Upaya Pengurangan Gas Metana di TPA Rawa Kucing Kota Tangerang menggunakan Sistem Komposting 3R, dan *Methane Capture*”. Penyusunan laporan tugas akhir ini dilakukan sebagai salah satu syarat untuk menyelesaikan program pendidikan Strata Satu (S1) pada Program Pendidikan Studi Teknik Lingkungan Universitas Islam Indonesia. Dalam penyusunan laporan tugas akhir ini banyak sekali hambatan dan rintangan yang saya hadapi namun pada akhirnya dapat melaluinya berkat adanya bimbingan, bantuan, serta dukungan dari banyak pihak baik secara moral maupun spiritual. Untuk itu pada kesempatan ini penulis menyampaikan ucapan terimakasih kepada:

1. Allah SWT yang telah memberi ilmu Pengetahuan, Kesehatan, kelancaran, dan rahmatnya, sehingga dapat menyelesaikan laporan tugas akhir ini.
2. Bapak Dr. Eng. Awaluddin Nurmiyanto, S.T., M.Eng. dan Dr. Ir. Hijrah Purnama Putra, S.T., M.Eng. selaku Dosen Pembimbing Tugas Akhir yang juga turut memberikan bimbingan, bantuan materil serta masukan dalam proses pembuatan, perhitungan dan pembuatan model.
3. Kedua orang tua penulis, Bapak Budiyono, Ibu Ken Tuti Harsini, Kaka penulis Priyo Sukarno, Ilham Pambudi, Ifa Marifatusa'adah, serta seluruh keluarga penulis yang telah menjadi tempat pulang paling nyaman. Kehangatan, perhatian, dan semangat yang diberikan senantiasa menjadi penopang di saat-saat sulit, serta pengingat bahwa penulis tidak pernah sendiri. Doa-doa kalian adalah cahaya dalam gelap, dan kasih sayang kalian adalah kekuatan yang tidak tergantikan. Semoga segala kebaikan dan cinta yang telah kalian curahkan akan selalu dibalas dengan limpahan

4. Konseling penulis, bapak Muhammad Novvaliant Filsuf Tasaufi, S.Psi., M.Psi., Psikolog. yang telah menjadi cahaya penuntun dalam proses penyembuhan dan pertumbuhan pribadi penulis. Melalui setiap sesi konseling, penulis tidak hanya dibantu untuk memahami dan merangkul luka batin, tetapi juga diarahkan untuk kembali bangkit dan melangkah maju dengan lebih percaya diri dan tenang. Dukungan, empati, dan ketulusan yang diberikan selama proses terapi telah menjadi bagian penting dalam perjalanan penulis menuju pemulihan. Tanpa bimbingan beliau, penulis mungkin tidak akan mampu menemukan kembali makna hidup dan kekuatan diri yang sempat hilang.
5. Teman penulis pemilik NIM 21513065, 21513067, 21513089, 19513250, 21513076, 21513113, 21321247, 21523001, Athalla Manissa, Meilisa, Yoshephine Niegel, Ika Setianingrum, Fathimah Kalimasada, Sabrillian Firdausa, Syiva Nada, Risma dan Adi Rahman yang telah menemani suka maupun duka, turut memberikan bantuan dalam kegiatan penelitian dan dorongan untuk segera menyelesaikan laporan tugas akhir ini.
6. Seluruh dosen, staff, dan keluarga besar Program Studi Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia karena telah memberikan pengajaran dan pengalaman selama kuliah sehingga ilmu yang telah penulis peroleh dapat bermanfaat untuk penyusunan laporan ini.

Yogyakarta, 27 Juni 2025

Penyusun,



Raina Salsabilla Rahmawati

***Analisis Life Cycle Assesment (LCA) Terhadap Upaya
Pengurangan Gas Metana di TPA Rawa Kucing Kota
Tangerang menggunakan Sistem Komposting, 3R, dan
Methane Capture***

Mahasiswa : Raina Salsabilla Rahmawati
NIM : 21513057
Program Studi : Teknik Lingkungan - Program Sarjana
Pembimbing : Dr. Eng. Awaluddin Nurmiyanto, S.T., M.Eng
Dr. Ir. Hijrah Purnama Putra, S.T., M.Eng

Abstrak

Peningkatan volume sampah di TPA Rawa Kucing telah memicu tingginya emisi gas metana, gas rumah kaca dengan potensi pemanasan global yang signifikan. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi efektivitas tiga teknologi pengelolaan sampah—komposting, prinsip 3R (Reduce, Reuse, Recycle), dan penangkapan metana—dalam mengurangi emisi metana menggunakan pendekatan *Life Cycle Assessment (LCA)*. Pemodelan emisi dilakukan menggunakan metode LandGEM dan IPCC. Hasil menunjukkan estimasi emisi metana pada sanitary landfill sebesar 29.528,7 ton, composting sebesar 3.806,18 ton, dan methane capture sebesar 5.099,58 ton. Temuan ini menegaskan bahwa kombinasi ketiga teknologi tersebut berpotensi mengurangi dampak lingkungan secara signifikan. Rekomendasi diarahkan pada penerapan lanjutan teknologi ini untuk mendukung pengelolaan sampah berkelanjutan dan mitigasi perubahan iklim di Kota Tangerang.

Kata Kunci: *Life Cycle Assessment*, gas metana, TPA Rawa Kucing, komposting, 3R, methane capture, emisi.

***Life Cycle Assessment of Methane Reduction Strategies at
Rawa Kucing Landfill, Tangerang: Composting, 3R, and
Methane Capture***

Student : Raina Salsabilla Rahmawati
Student Number : 21513057
Study Program : Environmental Engineering – Bachelor Program
Supervisor : Dr. Eng. Awaluddin Nurmiyanto, S.T., M.Eng
Dr. Ir. Hijrah Purnama Putra, S.T., M.Eng

Abstract

The increasing volume of waste at the Rawa Kucing landfill has led to significant methane emissions, a greenhouse gas with a global warming potential far greater than carbon dioxide. This study aims to evaluate the effectiveness of three waste management technologies—composting, the 3R principles (Reduce, Reuse, Recycle), and methane capture—in reducing methane emissions using a Life Cycle Assessment (LCA) approach. Emission modeling was conducted using the LandGEM and IPCC methods. Results show methane emissions from sanitary landfill at 29,528.7 tons, composting at 3,806.18 tons, and methane capture at 5,099.58 tons. These findings indicate that the integration of these technologies can significantly reduce environmental impact. The study recommends further implementation of these strategies at the Rawa Kucing landfill to support sustainable waste management and climate change mitigation efforts in Tangerang City.

Keywords: *Life Cycle Assessment, methane gas, Rawa Kucing landfill, composting, 3R, methane capture, emission reduction.*

DAFTAR ISI

PRAKATA	i
Abstrak	iii
DAFTAR ISI	v
DAFTAR TABEL	vii
DAFTAR GAMBAR	viii
DAFTAR LAMPIRAN	ix
Lampiran	ix
Lampiran	ix
Lampiran	ix
Lampiran	ix
Lampiran	ix
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Manfaat Penelitian	3
1.5 Ruang Lingkup	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Tempat Pembuangan Akhir (TPA) Rawa Kucing	5
2.2 Pengelolaan Sampah	6
2.3 Controlled Landfill	8
2.4 Pengurangan dengan Pengomposan 3R (Reuse, Reduce, Recycle)	8
2.5 Penangkapan Gas Metana	10
2.6 Pemodelan	11
2.7 Studi Literatur	15
BAB III METODE PENELITIAN	19
3.1 Kerangka Studi	19
3.2 Pelaksanaan Penelitian	20
3.3 Pengumpulan Data	21

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	32
4.1. Analisis Kuantitas dan Komposisi Sampah	32
4.2. Proyeksi Penduduk	32
4.3. Timbunan Sampah	34
4.4. Komposisi Sampah	35
4.5. Perhitungan Potensi Gas Metana dengan LandGEM	36
4.6. Perhitungan Analisa dengan Model IPCC	41
4.7. Perbandingan Hasil LandGEM dengan IPCC	43
4.8. Analisis Dampak Lingkungan	44
BAB V PENUTUP	61
5.1 Kesimpulan	61
5.2 Saran	62
DAFTAR PUSTAKA	63
LAMPIRAN	66
Lampiran	66
Lampiran	71
Lampiran	77
Lampiran	84
Lampiran	91
RIWAYAT HIDUP	95

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Studi Literatur.....	15
Tabel 3. 1 Akumulasi Data Sampah	24
Tabel 4. 1 Data Pengelolaan Sampah	35
Tabel 4. 2 Hasil Perbandingan Perhitungan dengan LandGEM & IPCC	44
Tabel 4. 3 Perbandingan Hasil Analisis <i>Controlled Landfill</i> , Pengomposan Dengan <i>Anaerobic Digestion</i> 3R, Dan <i>Methane</i> <i>Capture</i>	50
Tabel 4. 4 Target-Target Mitigasi perubahan Iklim (NDC Indonesia).....	60

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Layout TPA Rawa Kucing.....	6
Gambar 3. 1 Alur Penelitian	20
Gambar 3. 2 Alur Skenario 0.....	25
Gambar 3. 3 Alur Skenario 1.....	27
Gambar 3. 4 Alur Skenario 2.....	28
Gambar 4. 1 Proyeksi Penduduk 1	33
Gambar 4. 2 Proyeksi Penduduk 2	33
Gambar 4. 3 Proyeksi Penduduk 3	34
Gambar 4. 4 Proyeksi Penduduk 4	34
Gambar 4. 5 Data Volume Sampah per 2 tahun (1992-2030).....	35
Gambar 4. 6 Komposisi Sampah Berdasarkan Jenis Sampah	36
Gambar 4. 7 Estimasi Produksi Gas Metana dengan Model Landgem	41
Gambar 4. 8 Estimasi Produksi Gas Metana dengan Model IPCC	43
Gambar 4. 9 Perbandingan Hasil Analisis Controlled Landfill, Pengomposan Dengan Anaerobic Digestion 3R, Dan Methane Capture.....	50
Gambar 4. 10 Dampak Lingkungan dari Penggunaan 3 Metode Pengelolaan Sampah: Controlled Landfill, Pengomposan Dengan Anaerobic Digestion 3R, Dan Methane Capture.....	56

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Contoh perhitungan Proyeksi Penduduk Kota Tangerang

Lampiran 2 Analisis perhitungan Timbulan Sampah

Lampiran 3 Analisis Perhitungan Komposisi Sampah

Lampiran 4 Analisis Perhitungan gas Metana

Lampiran 5 Inventory Analisis

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kota Tangerang ialah kota dengan populasi padat yang terus menghadapi permasalahan pengelolaan sampah akibat tingginya jumlah timbulan sampah. Salah satu kendala utama adalah minimnya pemilahan sampah sejak dari sumbernya, yang menghambat proses daur ulang dan pemanfaatan kembali material yang masih bernilai (Rukmono & Imam, 2023). Meskipun terdapat inisiatif masyarakat seperti Bank Sampah yang mengolah sampah menjadi produk bernilai guna, seperti tas dan dompet dari plastik bekas, implementasi program ini masih terbatas. Sebagian besar sampah di Kota Tangerang berakhir di Tempat Pemrosesan Akhir (TPA) Rawa Kucing tanpa pengolahan lebih lanjut, menyebabkan pencemaran lingkungan dan bau tidak sedap (Lotulung, 2020).

Sistem Informasi Pengelolaan Sampah Nasional (SIPSN) mengungkapkan bahwasanya di tahun 2022, timbulan sampah harian di Kota Tangerang Selatan menyentuh angka 972,63 ton, dengan total sampah yang masuk ke TPA Rawa Kucing sejumlah 443.785,24 ton per tahun. Di tahun 2023, jumlah ini bertambah menjadi 1.011,45 ton per hari, dengan total sampah masuk ke TPA sebanyak 386.535,00 ton per tahun. Dengan luas hanya 35 hektare, di mana 14,6 hektare telah digunakan untuk open dumping, kapasitas TPA Rawa Kucing semakin terbatas (Lotulung, 2020). Jika tidak segera dikelola dengan lebih baik, sampah yang terus menumpuk akan memperburuk kondisi lingkungan.

Timbunan sampah yang tidak dikelola dengan baik juga berkontribusi terhadap pelepasan gas metana (CH_4) dan zat pencemar lainnya. Metana ialah gas rumah kaca dengan potensi pemanasan global lebih besar dibandingkan karbon dioksida (CO_2). Jika dibiarkan tanpa pengolahan, emisi metana dari TPA dapat memperburuk perubahan iklim dan membahayakan kesehatan masyarakat (Artiningrum, 2017; Axmalia & Mulasari, 2021). Hingga kini, Pemerintah Kota Tangerang masih mengandalkan metode open dumping, yang tidak ramah

lingkungan karena berisiko mencemari tanah dan air akibat rembesan lindi serta meningkatkan emisi gas rumah kaca (Yulianto et al., 2018; Lestari & Rahardjo, 2021).

Sebagai solusi yang lebih berkelanjutan, metode penangkapan gas metana *atau methane capture* mampu diimplementasikan guna meminimalkan emisi gas rumah kaca. Teknologi ini memungkinkan gas metana yang TPA hasilkan ditangkap serta dimanfaatkan menjadi sumber energi untuk bahan bakar atau listrik (Thorneloe et al., 2019). Selain itu, metode *anaerobic digester* (AD) berpotensi menghasilkan biogas sebagai bahan bakar alternatif, sedangkan pendekatan *composting* dan konsep *reduce, reuse, recycle* (3R) dapat membantu mengelola sampah organik secara lebih efisien dan ramah lingkungan.

Penelitian ini akan menganalisis potensi produksi gas metana dari timbunan sampah di TPA Rawa Kucing. Untuk memperoleh data yang lebih akurat, akan dilakukan perbandingan pemodelan antara *LandGEM* dan IPCC (Ningsih & Agung, 2023). Dampak lingkungan akibat sampah yang dihasilkan juga akan dianalisis menggunakan *software OpenLCA* (Anastasia & Azis, 2020). Pemodelan estimasi jumlah gas metana di TPA Rawa Kucing dilakukan dengan persamaan orde pertama dalam *landfill gas (LFG) modeling* menggunakan *software LandGEM* (Alam et al., 2022). Sementara itu, metode IPCC akan digunakan untuk menyusun laporan yang lebih mudah dipahami oleh pemangku kepentingan dan masyarakat umum (Change, 1995).

Hingga sekarang ini, pengelolaan sampah di TPA Rawa Kucing masih belum optimal. Karenanya, penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi efektivitas berbagai metode, seperti *composting anaerobic digester*, dan *methane capture*, dalam meminimalkan emisi gas rumah kaca. Selain itu, penelitian ini nantinya membandingkan metode tersebut menggunakan pendekatan *Life Cycle Assessment (LCA)* guna mencari tahu dampak lingkungan dari tiap metode. Hasil penelitian ini harapannya mampu memberi rekomendasi strategi pengelolaan sampah organik yang lebih optimal dan berkelanjutan bagi Kota Tangerang..

1.2 Rumusan Masalah

- 1) Bagaimana kontribusi emisi gas metana di TPA Rawa Kucing melalui pendekatan pemodelan *LandGEM* dan IPCC.
- 2) Bagaimana efektivitas metode *composting anaerobic digester*, dan *methane capture* pada evaluasi analisis siklus hidup (*Life Cycle Assesment/LCA*)

1.3 Tujuan Penelitian

- 1) Menganalisis jumlah gas metana pada TPA Rawa Kucing dengan pemodelan *LandGEM*, dan IPCC.
- 2) Evaluasi *Life Cycle Assesment* TPA Rawa Kucing dengan menggunakan metode *composting anaerobic digester*, dan *methane capture*

1.4 Manfaat Penelitian

- 1) Mengestimasi emisi gas yang dihasilkan dari TPA Rawa Kucing melalui pemodelan
- 2) Memberikan pengetahuan dan pengalaman kepada masyarakat dan pelaku mengenai alternatif pengelolaan sampah.

1.5 Ruang Lingkup

Ruang lingkup dari dilakukannya penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Ruang Lingkup Materi

- a. Evaluasi dampak lingkungan dari metode komposting dan penangkapan gas metana
- b. Analisis efektivitas metode penangkapan gas metana terhadap pengurangan Emisi Gas Rumah Kaca

2. Ruang Lingkup Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian ini akan dilakukan di wilayah TPA Rawa Kucing (TPA utama di Kota Tangerang). Data dan analisis sesuai dengan kondisi fakta lapangan. Penelitian ini akan berjalan selama 4 bulan, hingga Maret 2025\

3. Ruang Lingkup Analisis Data

- a. Pengumpulan data kuantitatif dan operasional

- b. Melakukan perhitungan estimasi emisi gas metana dengan pemodelan menggunakan LandGEM dan IPCC.
- c. Melakukan evaluasi dampak dengan software LCA.

.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tempat Pembuangan Akhir (TPA) Rawa Kucing

Tempat Pembuangan Akhir (TPA) Rawa Kucing, yang berada di Kecamatan Neglasari, Kota Tangerang, memiliki luas area mencapai 34,8 hektar dan memainkan peran penting dalam sistem pengelolaan sampah kota tersebut. Awalnya, lahan ini digunakan untuk kegiatan penambangan pasir, tetapi setelah aktivitas tersebut dihentikan, area ini kemudian dialihfungsikan menjadi tempat pembuangan akhir untuk menampung berbagai jenis sampah dari wilayah Kota Tangerang serta sekitarnya. Sampah yang dikelola di TPA ini sangat beragam, mencakup sampah non-organik misalnya plastik serta logam, sampah organik misalnya sisa makanan serta daun-daunan, juga limbah Bahan Berbahaya dan Beracun (B3) yang perlu memperoleh penanganan khusus supaya tidak menimbulkan pencemaran (Lotulung, 2022).

Seiring berjalannya waktu, TPA Rawa Kucing menghadapi tantangan besar, terutama terkait keterbatasan kapasitas, di mana kondisi saat ini menunjukkan bahwa sekitar 14.000 ton sampah belum dapat diolah dengan baik, sehingga menimbulkan ancaman serius terhadap kelangsungan operasional TPA tersebut. Pengelolaan TPA ini ada di bawah Dinas Lingkungan Hidup (DLH) Kota Tangerang, yang bertugas memastikan bahwa aktivitas di lokasi berjalan sesuai dengan standar operasional dan peraturan lingkungan yang berlaku. Namun demikian, hingga kini, pemerintah Kota Tangerang masih belum mengambil keputusan strategis mengenai langkah konkret untuk memperbaiki atau mengembangkan sistem pengelolaan sampah di TPA Rawa Kucing, yang seharusnya menjadi prioritas mengingat kondisi darurat yang dihadapi (Lotulung, 2024). Guna memberi gambaran yang lebih jelas terkait kondisi fisik beserta tata letak fasilitas ini, layout TPA Rawa Kucing diperlihatkan pada gambar 2.1



Gambar 2. 1 Layout TPA Rawa Kucing

Teknologi memainkan peran krusial dalam pengelolaan sampah, khususnya dalam meminimalisir volume sampah di TPA, seperti TPA Rawa Kucing. Pemerintah Kota Tangerang sedang melangsungkan pengembangan proyek Pembangkit Listrik Tenaga Sampah (PLTSa) selaku solusi jangka panjang bagi masalah sampah, namun pembangunan PLTSa ini memerlukan waktu dan belum menunjukkan kemajuan signifikan. Untuk mewujudkan kebijakan manajemen sampah yang efektif di TPA Rawa Kucing, kolaborasi dan keterlibatan aktif masyarakat sangat diperlukan, agar kebijakan pemerintah mampu diterapkan serta tujuan yang diharapkan mampu tercapai (Setiawan, 2023)

2.2 Pengelolaan Sampah

Kebijakan beserta strategi nasional bagi pengelolaan sampah di Indonesia sudah diatur pada Peraturan Presiden Nomor 81 Tahun 2012 terkait Pengelolaan Sampah Rumah Tangga dan Sampah Sejenis Sampah Rumah Tangga, terutama pada Pasal 6, yang menegaskan pentingnya pengelolaan sampah secara terencana, terpadu, dan berkelanjutan. Regulasi ini menegaskan komitmen pemerintah untuk mencapai target pengelolaan sampah secara baik dan benar hingga mencapai 100% pada tahun 2025, yang diwujudkan melalui dua pendekatan utama, yakni meminimalisir sampah sejumlah 30% beserta penanganan sampah sejumlah 70% (Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan, 2012).

2.2.1 Pengurangan Sampah

Pengurangan sampah di Indonesia melibatkan berbagai strategi, salah satunya melalui prinsip "3R" (*Reduce, Reuse, Recycle*). Meskipun istilah "daur

ulang" sudah lama digunakan, kini istilah ini mencakup lebih banyak aktivitas, seperti penggunaan kembali dan pengurangan sampah, yang mencakup beberapa tindakan seperti:

- *Reduce*: Upaya untuk mengurangi volume limbah, termasuk menghemat bahan baku dan mengurangi potensi bahaya limbah (Sari et al., 2019).
- *Recovery*: Proses untuk mengembalikan nilai pada limbah yang terbuang, memungkinkan pemanfaatannya kembali melalui pengumpulan dan pemisahan yang baik (Aminah, 2020).
- *Reuse*: Penggunaan kembali limbah tanpa melalui proses transformasi, seperti penggunaan kembali botol atau wadah (Nugroho, 2021).
- *Reclamation*: Pengolahan limbah menjadi bahan baku baru yang mampu dipergunakan pada proses produksi, yang menghasilkan produk baru dengan nilai tambah yang berbeda (Wahyudi & Salim, 2018).

2.2.2 Penanganan Sampah

UU No. 18 Tahun 2008 mengelaborasi bahwasanya sampah diartikan selaku sisa padat yang merupakan hasil dari kegiatan keseharian manusia atau proses alam, yang memerlukan pengelolaan khusus berdasarkan karakteristik dan volumenya (Bappenas, 2008). Penanganan sampah, sebagaimana dijelaskan pada Peraturan Menteri Pekerjaan Umum No. 03/PRT/M/2013, mencakup penyediaan prasarana beserta sarana untuk menangani sampah rumah tangga beserta sampah sejenisnya. Pemerintah pusat menetapkan standar, norma, dan prosedur pada pengelolaan sampah yang pemerintah daerah ikuti, seperti yang tercermin pada Peraturan Walikota Tangerang Nomor 144 Tahun 2021 beserta Peraturan Daerah Kota Tangerang Nomor 2 Tahun 2022 (Tangerang, 2022). Beberapa kebijakan yang diterapkan dalam pengelolaan sampah antara lain

- 1) Kebijakan pemilahan
- 2) Kebijakan Pengumpulan
- 3) Kebijakan Pengangkutan
- 4) Kebijakan Pengolahan
- 5) Kebijakan Pemrosesan Akhir

2.3 Controlled Landfill

Controlled Landfill merupakan konsep penimbunan sampah dalam tanah. Ini dilakukan dengan menumpuk serta membuang sampah di area cekung, memadatkannya, lalu menutupnya dengan tanah. Sistem ini menimbun tanah berlapis-lapis alhasil sampah tidak terletak di ruang terbuka serta tidak memunculkan bau. Menurut Muthmainnah & Adris (2020). Keuntungan dari pengeboran lahan yang dikontrol adalah bahwa mereka dapat mengurangi dampak negatif terhadap lingkungan, memungkinkan lahan untuk digunakan kembali setelah digunakan, dan memberikan estetika lingkungan yang cukup baik. Menurut Arlina Phelia dan Enri Damanhuri (2019).

Dengan menggunakan sistem pengurukan berlapis terkendali (*controlled landfill*), hal tersebut menjadi Sarana untuk pengurukan sampah yang bersifat sementara, sebelum dapat melakukan operasi pengurukan berlapis, memerlukan langkah-langkah tertentu. Tempat sampah yang sudah diuruk serta dipadatkan di area pengurukan harus ditutup dalam jangka waktu seminggu (tujuh hari) tanah setidaknnya sekali (Preasley, et al., 2021).

2.4 Pengurangan dengan Pengomposan 3R (Reuse, Reduce, Recycle)

Pengelolaan sampah mempergunakan prinsip 3R ialah usaha meminimalisir pembuangan sampah melewati aktivitas menggunakan kembali, mengurangi, juga mendaur ulang (Trisnawati dan Khasanah, 2020). Pengolahan sampah dengan 3R dapat berdampak positif pada kesehatan dan kesejahteraan masyarakat (Ediana dkk., 2018).

- *Reuse* (menggunakan kembali), yakni memanfaatkan lagi sampah dengan langsung, baik guna fungsi yang sama ataupun dialihfungsikan.
- *Reduce* (mengurangi), yakni meminimalisir timbulnya sampah. Contohnya dengan memilih untuk memanfaatkan tas belanja yang mampu dipergunakan berulang kali dibandingkan kantung plastik sekali pakai.
- *Recycle* (daur ulang), yakni mempergunakan kembali sampah sesudah melalui proses pengolahan.

Pengomposan sampah merupakan pengolahan sampah untuk mereduksi sampah organik. Menurut Dewi dan Treesnowati (2012), proses bioteknologi yang digunakan untuk mengolah bahan organik dengan bantuan mikroorganisme yang

bekerja dalam kondisi tanpa oksigen (anaerobik). Proses ini menghasilkan dua produk utama biogas, yang sebagian besar terdiri dari metana (CH_4) dan karbon dioksida (CO_2), serta pupuk organik yang kaya nutrisi. Proses ini banyak digunakan untuk mengelola limbah organik, termasuk sampah rumah tangga, limbah pertanian, dan limbah industri, serta dapat digunakan guna meminimalkan emisi gas rumah kaca (GRK) serta menghasilkan energi terbarukan dalam bentuk biogas. Pembuatan kompos dilaksanakan dengan mengontrol serta mengatur campuran bahan organik, pemberian air yang cukup, pemberian *effective inoculant* serta pengaturan aerasi (Manuputty dkk., 2012). Menurut Tchobanoglous dkk. (1993), terdapat macam-macam pengomposan, seperti *windrow*, *aeratic static pile*, *in vessel*, *vermicomposting*, dan lain-lain. Teknologi pengomposan yang mudah diaplikasi kan di Indonesia adalah metode *windrow* (Chaerul dan Susangka, 2011).

Pencernaan anaerobik (*anaerobic digestion*) merupakan proses biologis yang terjadi secara alami di mana mikroorganisme menguraikan bahan organik dalam kondisi tanpa oksigen (anaerob). Proses ini umum digunakan dalam pengelolaan limbah padat organik seperti limbah rumah tangga, limbah pertanian, serta limbah industri makanan, dengan tujuan menghasilkan biogas dan residu padat bernilai guna (digestate). Anaerobic digestion terjadi melalui empat tahap utama, yaitu hidrolisis, asidogenesis, asetogenesis, dan metanogenesis. Pada tahap pertama, yaitu hidrolisis, senyawa organik kompleks seperti karbohidrat, protein, dan lemak dipecah menjadi senyawa yang lebih sederhana seperti glukosa, asam amino, dan asam lemak. Selanjutnya, dalam tahap asidogenesis, senyawa-senyawa ini dikonversi menjadi asam organik volatil, alkohol, hidrogen, dan karbon dioksida. Proses berlanjut ke asetogenesis, di mana asam organik diubah menjadi asam asetat, hidrogen, dan karbon dioksida. Tahap terakhir, metanogenesis, merupakan konversi asam asetat dan hidrogen menjadi gas metana (CH_4) dan karbon dioksida oleh mikroorganisme metanogenik (Angelidaki et al., 2011).

Proses ini biasanya dilakukan dalam reaktor tertutup yang dioperasikan pada suhu mesofilik (sekitar 30–40 °C) atau termofilik (sekitar 50–60 °C), tergantung pada jenis substrat dan efisiensi yang diinginkan. Salah satu keunggulan utama dari proses ini adalah kemampuannya menghasilkan biogas yang dapat dimanfaatkan sebagai sumber energi terbarukan, baik dalam bentuk panas, listrik, maupun bahan

bakar setelah pemurnian (*Appels et al., 2008*). Selain itu, sisa padatan dari proses ini (digestate) juga memiliki nilai ekonomi karena dapat digunakan sebagai pupuk organik atau bahan baku kompos. Proses anaerobic digestion juga dikenal ramah lingkungan karena mampu mengurangi emisi gas rumah kaca dari tempat pembuangan akhir (TPA), sehingga menjadi teknologi yang sangat relevan dalam konteks strategi mitigasi perubahan iklim dan pencapaian target NDC nasional (*Mavridis & Voudrias, 2021*).

Campo Brazil melakukan studi LCA dengan pengelolaan sampah dengan penambahan *Mechanical Biological Treatment* (MBT) sebagai fasilitas. Hasil dari analisis tersebut dapat mengurangi dampak lingkungan karena terdapatnya pemilahan sampah serta membentuk RDF (Refuse Derived Fuel), yang membantu meminimalkan emisi GRK beserta pemanasan global. Pengolahan sampah mempergunakan *Anaerobic Digestion* (AD) juga terbukti bermanfaat, terutama untuk menghasilkan bahan bakar pengganti solar kendaraan. Namun, meskipun pengomposan memberikan manfaat terhadap pengurangan dampak lingkungan, proses ini dapat meningkatkan toksisitas lingkungan dan menyebabkan eutrofikasi, terutama karena emisi NO_x/NO_x ke udara dan NO_3 ke lingkungan.

2.5 Penangkapan Gas Metana

Gas metana (CH_4) yakni sumber energi alternatif yang mampu diperbaharui serta memiliki potensi besar dalam mendukung pembangunan ekonomi berkelanjutan. Penggunaan gas metana sebagai bahan bakar minyak (BBM) telah berkembang karena emisinya yang lebih rendah dibanding bahan bakar fosil, alhasil mampu meminimalkan dampak negatif pada lingkungan. Gas metana menawarkan berbagai manfaat, antara lain sebagai sumber energi bersih, di mana pembakarannya menghasilkan air (H_2O) dan karbon dioksida (CO_2) yang diperlukan untuk fotosintesis tanaman. Selain itu, gas metana memiliki daya bakar tinggi (sekitar 802 kJ/mol) dengan emisi CO_2 yang relatif rendah per unit energi, serta dapat membantu mengurangi jumlah CH_4 di atmosfer, yang berkontribusi pada pengurangan pemanasan global (*Sutrisno, 2021*).

Dalam penangkapan gas metan, terdapat dua sistem yang umum digunakan: sistem horizontal dan vertikal. Pada sistem vertikal, saluran horizontal diperlukan untuk pembuangan air lindi, guna mencegah pengendapan yang dapat mengganggu

dekomposisi gas dan menghambat pelepasan gas, yang bahkan dapat menyebabkan ledakan. Sebaliknya, pada sistem horizontal, pipa vertikal tidak diperlukan karena air lindi mengalir bersama dengan gas. Penggunaan valve U atau pipa berbentuk U memungkinkan pemisahan gas dari kandungan airnya, dengan prinsip kerja mirip dengan hukum Pascal dalam sistem hidrolik, di mana air lindi dikeluarkan sementara gas tetap terperangkap dalam pipa (Sukma, 2022)..

Sudah banyak TPA di Indonesia yang memanfaatkan metode penangkapan gas metana, yang dimana perihal ini ialah langkah baik bagi pengaplikasian di TPA seluruh Indonesia nantinya mampu menjadi hal yang perlu diperhatikan dari sisi program beserta anggaran yang ialah kendala bagi tiap daerah guna menyokong pembangunan nasional yang lebih bertanggung jawab pada lingkungan. Teknologi yang akan digunakan untuk mengumpulkan gas metan akan jelas berbeda tergantung pada kondisi dan karakteristik unik dari masing-masing TPA. Pada Undang-Undang Nomor 18 Tahun 2018, pemerintah sudah memberi larangan bagi penanganan sampah di TPA melalui pembuangan terbuka (open dumping) sebagaimana tercantum dalam Pasal 29 Ayat 1F. Dengan demikian, teknologi pengelolaan sampah di TPA dapat mengimplementasikan sistem pembuangan sampah sanitasi sesuai dengan prosedur dan teknisnya, sehingga pengumpulan gas metan dapat dihentikan. Pengelolaan sampah harus mempertimbangkan sistem pengendalian sampah yang terintegrasi dari hulu ke hilir dan tidak hanya bergantung pada TPA. Untuk mendapatkan keuntungan bersama, pengelolaan sampah dan kegiatan pembangunan co-benefit yang dapat dimanfaatkan.

2.6 Pemodelan

2.6.1 *LandGEM*

Model emisi gas TPA, atau LandGEM, digunakan untuk menghitung tingkat emisi gas dari Tempat Pemrosesan Akhir (TPA) sampah padat kota, termasuk metana, karbon dioksida, senyawa organik non-metana, dan total gas TPA. Dengan menggunakan LandGEM, pemilik dan operator TPA dapat mengevaluasi apakah TPA mereka memenuhi Standar Kinerja Sumber Baru federal untuk TPA sampah padat kota baru, Pedoman Emisi federal untuk TPA yang ada, atau Standar Emisi Nasional untuk Polutan Udara Berbahaya (NESHAP). Jika data spesifik lokasi tidak

tersedia, model ini dapat menggunakan parameter default atau data lokal untuk memperkirakan emisi yang dihasilkan (EPA, 2020).

2.6.2 IPCC

The Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) menjadi salah satu badan internasional dalam ilmu pengetahuan untuk perubahan iklim. IPCC telah berdiri dari 1988 dibawah Organisasi Meteorologi Dunia (WMO) beserta Program Lingkungan Perserikatan Bangsa-Bangsa (UNEP). Maksud dari terbentuknya IPCC yakni guna memberikan evaluasi terkait kebijakan dasar perubahan iklim yang berdampak pada masa depan, tak hanya itu dapat dijadikan pilihan yang tepat dalam adaptasi dan mitigasi. Partisipasi dalam IPCC terbuka untuk semua negara anggota WMO dan Perserikatan Bangsa-Bangsa, karena bersifat ilmiah dan antar-pemerintah sehingga evaluasinya dapat memberikan solusi untuk petinggi pengambil keputusan (IPCC, 2021).

IPCC (2006) telah menyediakan metodologi yang lengkap untuk mengestimasi emisi GRK dalam lima jilid. Jilid pertama mendeskripsikan tahapan dasar pada pengembangan inventaris serta memberikan pedoman umum terkait emisi GRK, yang diambil dari pengalaman mulai tahun 1980. Sementara itu, jilid kedua hingga kelima menyajikan panduan dalam pendugaan emisi untuk berbagai sektor ekonomi. Dalam metodologi ini, terdapat tiga pendekatan yang diusulkan untuk pendugaan emisi GRK, yakni Metode Tier-1, Metode Tier-2, beserta Metode Tier-3 (IPCC, 2006).²

Salah satu kegiatan utama IPCC adalah menerbitkan beragam laporan yang berkaitan dengan isu-isu penting dalam penyelenggaraan Konvensi Kerangka Kerja PBB terkait Perubahan Iklim (UNFCCC). IPCC dimaksudkan guna melangsungkan evaluasi terkait informasi ilmiah yang berkaitan dengan perubahan iklim akibat aktivitas manusia, dampaknya, serta berbagai pilihan yang tersedia untuk adaptasi dan mitigasi.

1) Tier 1

Estimasi menurut pada data aktivitas beserta faktor emisi *default* dari IPCC. Tier 1 sering kali memanfaatkan sumber data aktivitas yang disediakan secara global, seperti laju deforestasi, pemakaian pupuk, peta tutupan lahan global,

statistik produksi pertanian, data populasi ternak, serta lain-lain. Namun, data tersebut umumnya masih dalam bentuk kasar.

2) Tier 2

Estimasi yang dihasilkan menurut data aktivitas yang lebih tepat, serta menggunakan faktor emisi default dari IPCC ataupun faktor emisi yang spesifik untuk sebuah pabrik atau negara, dikenal sebagai spesifik negara (*country specific*) atau spesifik pabrik (*plant specific*). Dalam pendekatan Tier-2, data aktivitas yang dipergunakan lebih mendetail dan disesuaikan dengan ukuran-ukuran yang ditentukan bagi area tertentu beserta kategori penggunaan lahan yang berkaitan dengan sumber emisi yang terinci.

3) Tier 3

Estimasi yang dilakukan menurut metode spesifik bagi sebuah negara memanfaatkan data aktivitas yang lebih tepat melalui pengukuran langsung, serta faktor emisi yang juga spesifik untuk pabrik atau negara tertentu. Pengelompokan populasi ternak dapat dilakukan dengan lebih rinci, berdasarkan kategori hewan, usia, berat badan, dan faktor-faktor lainnya. Model-model yang termasuk dalam Tier-3 harus melewati proses pemeriksaan kualitas, audit, serta validasi, dan semua langkah tersebut harus didokumentasikan dengan baik

Penentuan tingkat (Tier) pada inventarisasi GRK amatlah bergantung pada adanya data beserta kemajuan sebuah pabrik atau negara pada penelitian yang dimaksudkan guna melangsungkan penyusunan metodologi atau melangsungkan penetapan faktor emisi. Sebagai dasar, inventarisasi GRK mampu mempergunakan Tier-1, yang berlandaskan pada data aktivitas beserta faktor emisi default yang sudah IPCC tetapkan (Kementerian Lingkungan Hidup, 2012).

2.6.3 *Life Cycle Assessment*

Life Cycle Assessment (LCA) yakni metode yang dipergunakan guna melangsungkan evaluasi dampak lingkungan dari sebuah sistem atau produk selama siklus hidupnya, dari ekstraksi bahan baku sampai pembuangan akhir. Pada konteks pengelolaan sampah, LCA digunakan untuk menilai dampak dari berbagai opsi pengelolaan sampah, seperti pembuangan, daur ulang, dan pemrosesan energi (Zhang et al., 2020). LCA dapat memberikan gambaran menyeluruh tentang bagaimana setiap tahap dalam pengelolaan sampah mempengaruhi lingkungan,

termasuk emisi gas rumah kaca, penggunaan energi, dan potensi pencemaran lainnya (Kumar et al., 2018). Beberapa studi menunjukkan bahwa LCA dapat membantu dalam menentukan opsi pengelolaan sampah yang paling ramah lingkungan, dengan mempertimbangkan faktor-faktor seperti efisiensi energi dan pengurangan emisi (Gupta & Saini, 2019). Selain itu, LCA dapat mendukung pembuatan kebijakan dengan memberikan data yang akurat mengenai dampak lingkungan dari berbagai alternatif pengelolaan sampah (Hao et al., 2021). Melalui pendekatan ini, diharapkan pengelolaan sampah mampu dilaksanakan dengan berkelanjutan, dengan meminimalkan dampak negatif terhadap lingkungan.

LCA membantu mengidentifikasi dampak lingkungan yang ditimbulkan oleh berbagai pilihan pengelolaan sampah sepanjang siklus hidupnya. Ini meliputi dampak terhadap perubahan iklim (emisi GRK), penggunaan air, konsumsi energi, beserta polusi udara serta air (Zhang et al., 2020). Dengan demikian, LCA memungkinkan pengelola untuk memilih metode pengelolaan sampah yang mempunyai dampak paling minimal pada lingkungan. LCA memberikan alat yang berguna untuk membandingkan berbagai alternatif pengelolaan sampah, seperti daur ulang, pembakaran, atau pembuangan di TPA. Penilaian ini membantu untuk memahami efisiensi energi, pengurangan emisi, dan potensi pemanfaatan kembali sumber daya, serta memberikan informasi tentang pilihan terbaik dalam pengelolaan sampah berdasarkan kriteria lingkungan (Hao et al., 2021). LCA dapat mendukung pengambilan keputusan berbasis data yang kuat untuk merancang kebijakan pengelolaan sampah yang lebih ramah lingkungan. Dengan hasil dari LCA, pembuat kebijakan dapat merancang kebijakan yang lebih terfokus untuk mengurangi dampak sampah secara signifikan (Gupta & Saini, 2019).

2.7 Studi Literatur

Tabel 2. 1 Studi Literatur

No	Judul Penelitian	Nama Penelitian	Hasil Penelitian
1.	Optimasi Sudut Ujung Pipa Penangkapan Gas Metana Pada Metode <i>Arrow System</i>	(Zamzami, et all., 2011)	Instalasi penangkapan gas landfill di Indonesia umumnya dilakukan melalui pengeboran langsung di TPA, mengingat banyak TPA masih menggunakan sistem open dumping dan belum berstandar sanitary landfill. Pengeboran disesuaikan dengan kedalaman sampah, dengan lapisan kerikil setebal 20 cm setiap 50 cm timbunan sebagai jalur aliran gas menuju pipa ekstraksi. TPA yang dirancang baik dilengkapi membran geotekstil untuk mencegah kebocoran gas dan air. Setelah penuh, area ditutup dengan tanah dan vegetasi guna mengurangi emisi. Namun, di TPA Malang, ketiadaan membran dasar dan rongga yang memadai menyebabkan gas metana sulit diekstraksi dan bocor ke lingkungan.

No	Judul Penelitian	Nama Penelitian	Hasil Penelitian
2.	INVENTARISASI EMISI GAS RUMAH KACA (CH ₄ DAN N ₂ O) DARI SEKTOR PETERNAKAN KABUPATEN SLEMAN BAGIAN SELATAN D.I YOGYAKARTA	(Ratnia, 2018)	Penelitian ini mencatat emisi gas rumah kaca (GRK), khususnya metana (CH ₄) dan dinitrogen oksida (N ₂ O), dari sektor peternakan di Kabupaten Sleman Selatan, D.I. Yogyakarta. Emisi terutama berasal dari pencernaan ternak, pengelolaan limbah, dan penggunaan pupuk organik. Perhitungan emisi dilakukan menggunakan Metode Tier 1 IPCC berdasarkan populasi ternak dan faktor emisi yang tersedia. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sektor peternakan memberikan kontribusi besar terhadap emisi GRK, khususnya dari fermentasi pencernaan ruminansia dan limbah ternak. Untuk mitigasi, disarankan peningkatan efisiensi pakan, perbaikan pengelolaan limbah, dan penerapan teknologi ramah lingkungan dalam pengelolaan gas metana guna mendukung kebijakan penurunan emisi.

No	Judul Penelitian	Nama Penelitian	Hasil Penelitian
----	------------------	-----------------	------------------

3.	Potensi Pemanfaatan Sumber Energi Alternatif Gas Metana untuk Pembangkit Listrik 3 MW Menggunakan Pemodelan LandGEM (Studi Kasus: TPA Koya Koso Kota Jayapura)	(Royend. F., et all., 2023)	Berdasarkan pemodelan <i>LandGEM</i> potensi produksi gas metana di TPA Koya Koso dapat mencapai tingkat mendukung untuk pembangkitan listrik. Hal tersebut dapat optimalisasi emisi gas rumah kaca dengan implementasi pembangkit listrik tenaga sampah (PLTSa) sebagai sumber energi alternatif. Dengan teknologi modern seperti mesin gas Jenbacher, efisiensi konversi energi dapat dioptimalkan.
4	LIFE CYCLE ASSESSMENT (LCA) PENGELOLAAN SAMPAH PADA TEMPAT PEMROSESAN AKHIR (TPA) SAMPAH (STUDI KASUS: TPA JABON, KABUPATEN SIDOARJO)	(Martha, 2017)	Penelitian ini menunjukkan bahwa pengelolaan sampah di TPA Jabon berdampak signifikan terhadap lingkungan, terutama karena emisi gas metana (CH ₄) dari dekomposisi sampah organik. Transportasi dan pemrosesan sampah juga turut mencemari lingkungan. Untuk mengurangi dampak tersebut, disarankan penerapan teknologi pemrosesan yang lebih efisien, pengurangan volume sampah yang masuk ke TPA, serta peningkatan sistem penangkapan gas metana untuk dimanfaatkan sebagai sumber energi. Hasil analisis siklus hidup (LCA) ini dapat menjadi dasar kebijakan pengelolaan sampah yang lebih efektif dan berkelanjutan, serta memberi rekomendasi untuk peningkatan sistem pengelolaan TPA ke depan.
No	Judul Penelitian	Nama Penelitian	Hasil Penelitian

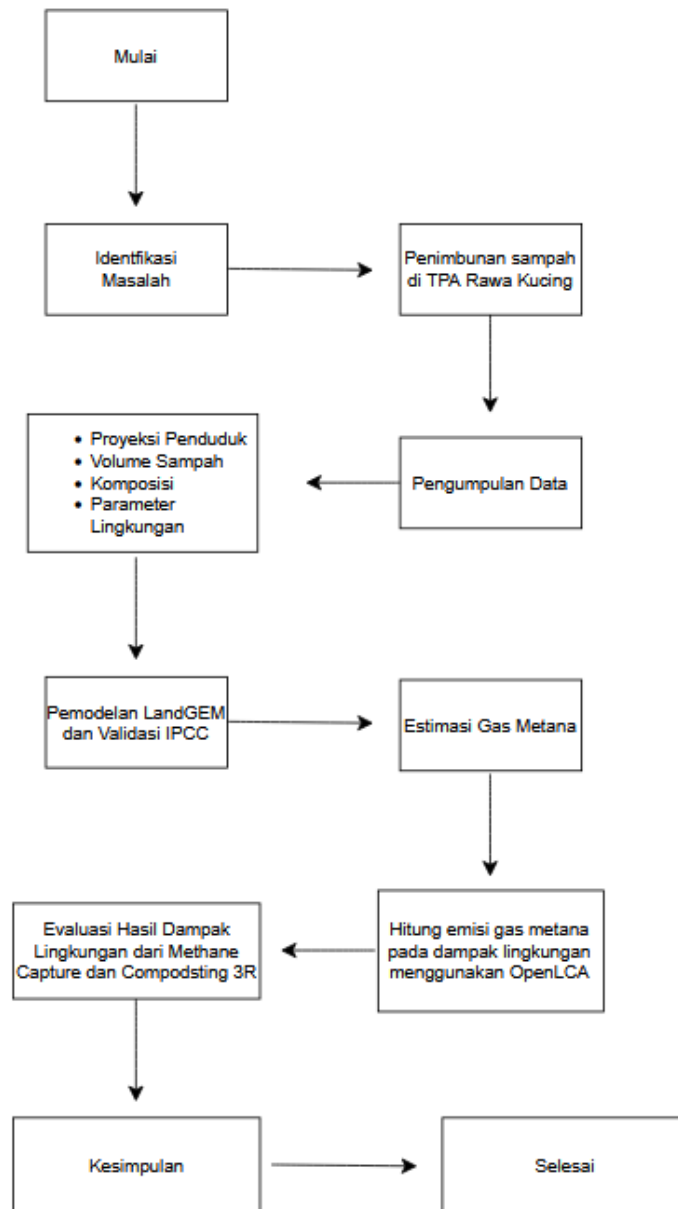
5	Life Cycle Assessment (LCA) Pengelolaan Sampah di TPA Gunung Panggung Kabupaten Tuban, Jawa Timur	(Arfiyah, et al., 2021)	Penerapan LCA dalam pengelolaan sampah di TPA bertujuan untuk memahami dampak lingkungan secara menyeluruh yang tidak tampak dalam operasional harian. Studi terdahulu menunjukkan bahwa TPA merupakan sumber emisi gas rumah kaca, terutama metana dari dekomposisi sampah organik. Evaluasi LCA mencakup konsumsi energi, bahan bakar, emisi, serta potensi pemanfaatan gas metana. Pengelolaan yang efisien, seperti teknologi penangkapan metana dan pengurangan volume sampah, terbukti dapat menurunkan dampak lingkungan. LCA di TPA Gunung Panggung diharapkan memberikan gambaran utuh dan rekomendasi untuk kebijakan pengelolaan sampah yang berkelanjutan
---	---	-------------------------	---

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Kerangka Studi

Kerangka Berpikir berfungsi sebagai panduan dalam pelaksanaan penelitian, yang disusun berdasarkan analisis terhadap permasalahan yang ada untuk meraih tujuan penelitian. Proses penelitian, mulai dari tahap awal hingga hasil yang ditetapkan, mampu diamati pada Gambar 3.1. Penanganan sampah di TPA Rawa Kucing saat ini masih menggunakan metode controlled landfill, yang mempunyai potensi guna memunculkan dampak negatif pada lingkungan. Karenanya, penelitian ini nantinya membandingkan berbagai skenario pengelolaan sampah yang dapat meminimalkan emisi lingkungan. Terdapat empat skenario pengelolaan sampah yang hendak dianalisis, yaitu: skenario 0 (*controlled landfill*), skenario 1 (daur ulang dan pengomposan), serta skenario 2 (*Methane Capture*).



Gambar 3. 1 Alur Penelitian

3.2 Pelaksanaan Penelitian

Pada penelitian ini berlokasi di Tempat Pemrosesan Akhir Rawa Kucing atau biasa disebut TPA berada pada Kecamatan Neglasari, Penelitian ini dilangsungkan melewati sejumlah tahapan, yaitu pengumpulan data primer beserta sekunder, pengolahan data mempergunakan perangkat lunak *LandGEM* ver 3.2 dan validasi IPCC, pengolahan data menggunakan perangkat lunak *life cycle inventory*

menggunakan perangkat lunak *Life Cycle Analysis* v.8.3. Tahapan berikutnya mencakup analisis data, pembahasan, beserta penarikan kesimpulan.

3.3 Pengumpulan Data

3.3.1 Data Sekunder

Penelitian ini dilaksanakan di Tempat Pemrosesan Akhir (TPA) Rawa Kucing yang berlokasi di Kecamatan Neglasari, Kota Tangerang. TPA ini merupakan salah satu lokasi utama pengelolaan sampah di wilayah tersebut. Penelitian bertujuan untuk menganalisis potensi emisi gas metana dan mengevaluasi dampak lingkungan dari berbagai teknologi pengelolaan sampah menggunakan pendekatan *Life Cycle Assessment* (LCA). Tahapan penelitian dimulai dengan pengumpulan data sekunder melalui pengolahan data sekunder yang diperoleh dari laporan resmi, literatur ilmiah, dan dokumen volume sampah TPA Rawa Kucing dari Tahun 2022- hingga 2023, data luas lahan TPA, data sarana dan prasarana TPA yang diperoleh dari Badan Pusat Statistik Kota Tangerang. Data Volume sampah diperoleh dari Dinas Lingkungan Hidup dan Kebersihan kota Tangerang. Data ini digunakan untuk menghitung proyeksi volume sampah tahun perencanaan, serta mengikuti aturan sesuai dengan SNI 3242-2008 tentang Tata Cara Pengelolaan Sampah di Permukiman

3.3.2 Data Primer

Komponen data primer yang dibutuhkan meliputi:

1. Proyeksi Penduduk

a. Aritmatika

1) Menghitung proyeksi penduduk menggunakan aritmatik:

$$P_n = P_o + (K_a \times (T_n - T_o)) \quad (1)$$

Dimana :

P_n = Jumlah penduduk pada tahun ke-n

P_o = Jumlah penduduk pada tahun ke-0

T_n = Tahun ke-n

T_o = Tahun ke-0

2) Menghitung Standar Deviasi

$$SD = \sqrt{\frac{\sum (Y_i - Y_{mean})^2}{n}} \quad (2)$$

b. Geomatrik

1) Menghitung proyeksi penduduk menggunakan geometrik:

$$P_n = P_o (1+r)^n \quad (3)$$

Dimana

P_n = Proyeksi penduduk tahun tertentu

P_o = Penduduk awal tahun

1 = konstanta

r = angka pertumbuhan penduduk

n = rentang tahun

2) Menghitung Standar Deviasi

$$P_n = P_o (1+r)^n \quad (4)$$

Dimana:

S = standar deviasi

Y_i = hasil perhitungan dari metode geometrik

y_{mean} = rata-rata statistik jumlah penduduk

n = jumlah data

c. Last Square

1) Menghitung proyeksi penduduk menggunakan last square:

- Nilai a

$$a = \frac{\sum Y - b \sum X}{n} \quad (5)$$

Dimana:

Y = nilai variabel berdasarkan garis regresi

X = variabel *independen*

X = variabel *independen*

A = konstanta

n = jumlah data

- Nilai b

$$b = \frac{n \sum XY - \sum X \sum Y}{n \sum X^2 - (\sum X)^2} \quad (6)$$

Dimana:

Y = nilai variabel berdasarkan garis regresi

X = variabel *independen*

b = koefisien arah regresi *linear*

n = jumlah data

2) Menghitung Standar Deviasi

$$SD = \frac{\sqrt{Y_i - Y_{mean}^2}}{n} \quad (7)$$

Dimana:

S = standar deviasi

y_i = hasil perhitungan dari metode aritmatik, metode geometrik dan metode *last square*

y_{mean} = rata-rata statistik jumlah penduduk

n = jumlah data

2. Data Timbulan Sampah

Dalam perhitungan timbulan sampah, terdapat beberapa langkah perhitungan. Adapun langkah perhitungan sebagai berikut:

- Menghitung jumlah penduduk terlayani:

$$\text{jumlah penduduk tahun 2042} \times \text{Tingkat pelayanan} \quad (8)$$

- Menghitung jumlah rumah terlayani

$$\text{Jumlah penduduk terlayani} \times \text{asumsi orang tiap KK (5 Orang)} \quad (9)$$

- Menghitung timbulan sampah domestik

a. Rumus berdasarkan berat sampah :

$$\text{Berat sampah} \times \text{jumlah rumah terlayani} \times \text{jumlah rumah terlayani} \times \text{Tingkat pelayanan rumah permanen} \quad (10)$$

b. Rumus berdasarkan volume sampah :

$$\text{Volume sampah} \times \text{jumlah rumah terlayani} \times \text{tingkat pelayanan rumah permanen} \quad (11)$$

3. Komposisi sampah di TPA Rawa Kucing

Pengambilan data pada artikel SISPAN mengenai timbulan sampah “Kota Tangerang”. Pada artikel tersebut terdapat jenis komposisi timbulan sampah yang dihasilkan, diantaranya:

1. Plastik
2. Dapat dikomposkan, sisa makanan, dan kayu dan ranting

3. Kertas
4. Karton
5. Besi
6. Kaca
7. Kain
8. Karet
9. Lain-lain

Selanjutnya data komposisi yang telah didapatkan, persentase asing-masing komposisi akan dihitung dengan rumus:

$$\% \text{ jenis sampah} = \frac{\text{Berat sampah tiap jenis (kg)}}{\text{berat total sampah (kg)}} \times 100\% \quad (12)$$

Data kuantitas sampah tiap komposisi sampah di tahun 2017 (eksisting) beserta 2027 (proyeksi) dipergunakan menjadi data inventarisasi pada metode LCA. Guna mendapat jumlah timbulan sampah sampai tahun 2027, alhasil nantinya dilangsungkan proyeksi timbulan sampah dengan proyeksi penduduk. Proyeksi jumlah penduduk mampu dihitung mempergunakan metode (Tipka, 2011) :

Tabel 3. 1 Akumulasi Data Sampah

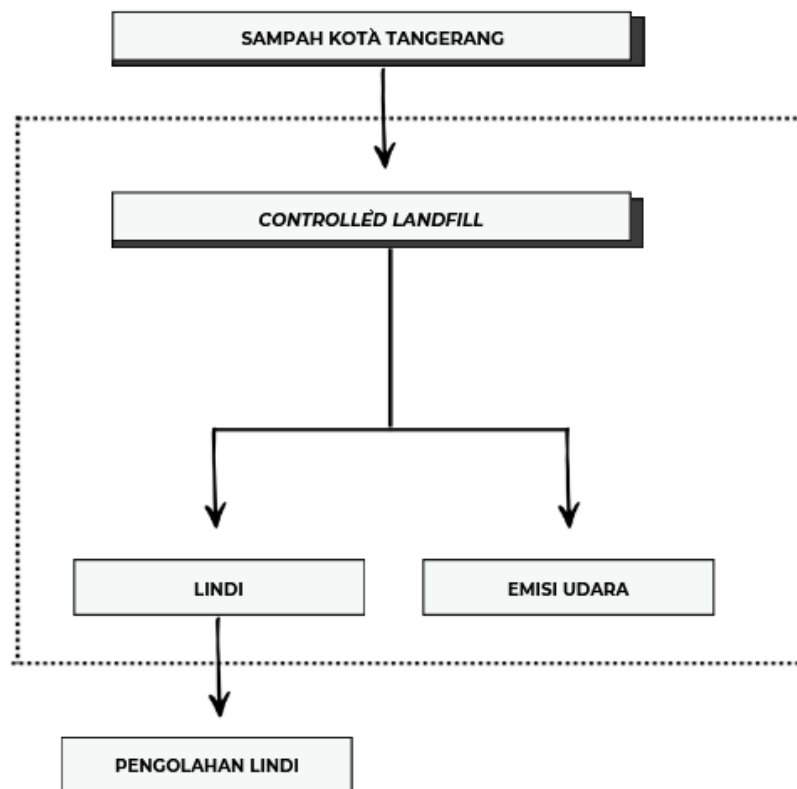
No	Data Sekunder	Data Primer
1	Data jumlah penduduk Kabupaten Sidoarjo minimal 5 tahun terakhir	Data timbulan sampah yang masuk ke TPA
2	Kondisi Pengelolaan sampah di TPA dalam 3 tahun terakhir	Data kuantitas sampah masuk ke TPA Rawa Kucinb tahun 1992 dan proyeksi (32 tahun) tahun 2032.
3	Sarana dan prasarana yang mendukung skenario pengelolaan sampah	Perhitungan LandGEM dan vaildasi data dengan IPCC
4		Perhitungan life cycle inventory tiap skenario sebagai input OpenLCA.

4. Skenario Pengelolaan Sampah dengan LCA

Hasil pengumpulan data-data primer beserta sekunder nantinya dipergunakan guna menetapkan skenario pengelolaan sampah terbaik yang memberi hasil emisi

lingkungan paling sedikit. Sejumlah skenario pengelolaan sampah yang hendak direncanakan yakni:

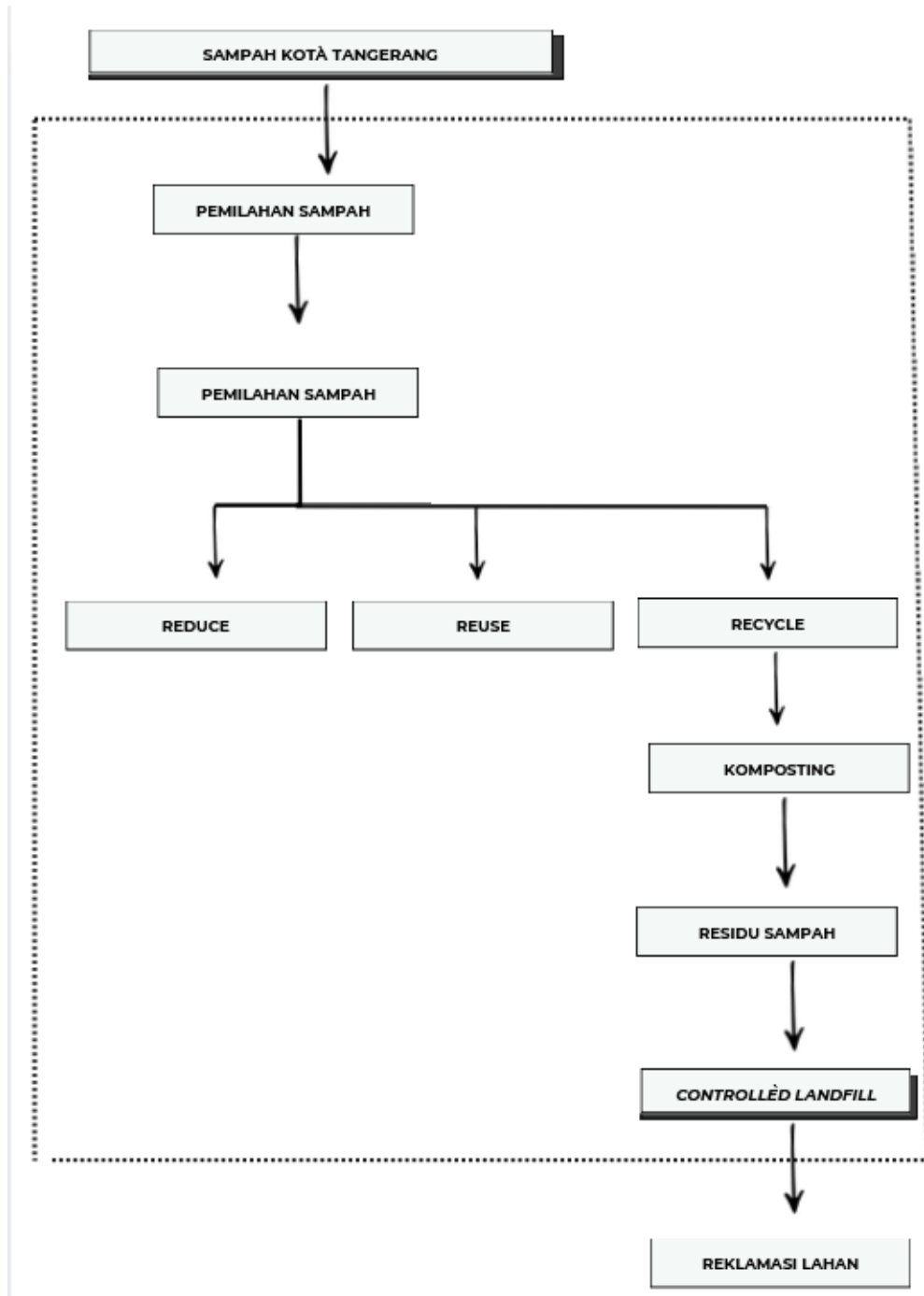
1. Skenario 0: Skenario 0 yakni skenario menurut kondisi eksisting di TPA (controlled landfill). Terdapat pada Gambar 3.2 mengenai alur scenario 0, sistem pengelolaan sampah yang lebih terkontrol dibandingkan dengan metode *open dumping*. Dalam sistem ini, sampah yang telah dipilah dan tidak dapat diolah lebih lanjut (residu) ditimbun secara sistematis, dipadatkan, dan ditutup dengan lapisan tanah setiap hari. Tujuan dari penutupan ini adalah untuk mengurangi bau, menekan penyebaran vektor penyakit, serta mencegah kebocoran ke lingkungan sekitar.



Gambar 3. 2 Alur Skenario 0

2. Skenario 1 : Daur ulang beserta pengomposan yang sifatnya biodegradable yang masuk ke TPA nantinya di komposkan, Terdapat pada Gambar 3.3 mengenai alur scenario 1. Lalu sampah yang mampu di daur ulang (kaca, keras, aluminium, plastik, beserta besi (Halkos dkk., 2016) nantinya di daur ulang di TPA. Pemilahan sampah organik dan anorganik, lalu sampah tersebut akan

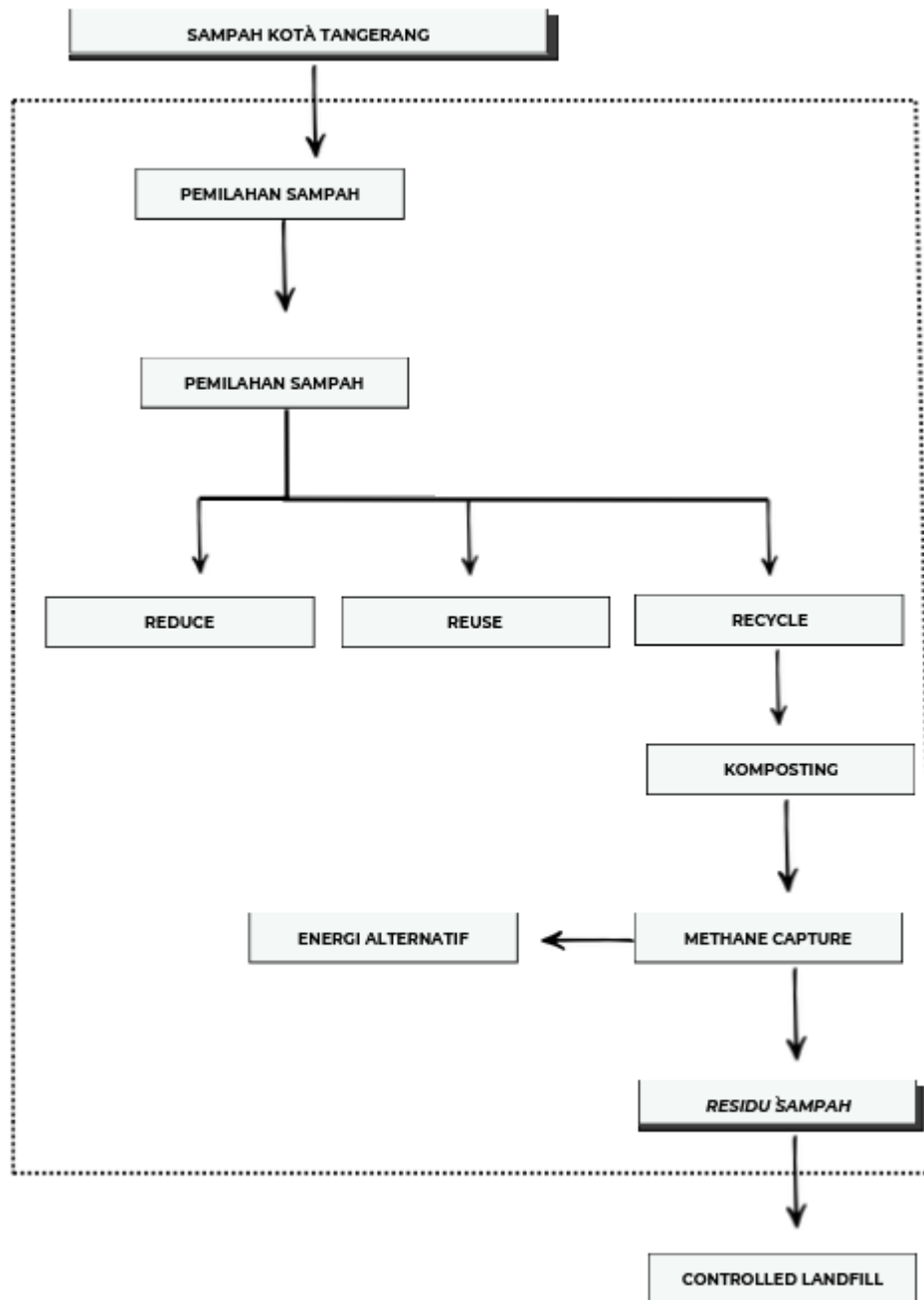
dimanfaatkan sesuai dengan fungsi. Organik akan pengomposan dengan anaerobik digester. Sementara itu, sampah anorganik seperti plastik, kertas, dan logam dikirim ke bank sampah atau mitra industri daur ulang. Dengan cara ini, volume sampah yang masuk ke landfill dapat dikurangi secara signifikan, memperpanjang umur operasional TPA, serta memberikan nilai ekonomi bagi masyarakat dan pemerintah daerah.



Gambar 3. 3 Alur Skenario 1

3. Skenario 2: Daur ulang, pengomposan beserta controlled landfill, Terdapat pada Gambar 3.3 mengenai alur scenario 2. Sampah biodegradable yang masuk ke TPA nantinya di komposkan. Lalu sampah yang bisa di daur ulang (kaca, kertas, aluminium, plastik, beserta besi (Halkos dkk., 2016) nantinya di daur ulang di

TPA, serta sisa sampah yang tidak bisa di komposkan atau di daur ulang nantinya ditimbun dalam controlled landfill.



Gambar 3. 4 Alur Skenario 2

3.3.3 Analisis dan Pembahasan

1) Analisis data-data primer dan sekunder

Di tahap analisis data beserta pembahasan, pemodelan mempergunakan Life Cycle Assessment (LCA) amatlah bergantung pada pengumpulan data primer

beserta sekunder yang akurat. Data primer beserta sekunder yang diperlukan telah dijelaskan sebelumnya.

2) Analisis LandGEM dan IPCC

a. *LandGEM*

LandGEM sebagai alat untuk estimasi tingkat emisi gas di TPA diantaranya metana, karbondioksida, senyawa organik nonmetana (NMOC), dan polutan udara individual dari TPA. Pemilik dan operator setempat dapat mengoperasikan LandGEM yang berfungsi dapat melihat TPA sudah memenuhi persyaratan kontrol Standar Kinerja Sumber Baru (NSPS). Acuan yang digunakan Emisi federal (EG) untuk TPA MSW yang sudah ada (40 CFR Subbagian Cc), atau Standar Emisi Nasional untuk Polutan Udara Berbahaya (NESHAP) untuk TPA MSW (40 CFR Subbagian AAAA)).

Terdapat contoh perhitungan untuk menghitung orde pertama dekomposisi (EPA, 2020):

$$Q_{CH_4} = \sum_{i=1}^n \times \sum_{j=0,1}^1 k L_o \left(\frac{M_1}{10} \right) e^{-kt_i} \quad (13)$$

Dimana:

Q_{CH_4} = produksi metana tahunan pada tahun perhitungan (m3/tahun)

i = kenaikan waktu 1 tahun

n = (tahun perhitungan) - (tahun awal penerimaan limbah)

j = kenaikan waktu 0,1 tahun

k = laju produksi metana (tahun⁻¹)

L_o = kapasitas produksi metana potensial (m3/Mg)

M_i = massa limbah yang diterima pada tahun ke-i (Mg) t_{ij} = usia bagian ke-j dari massa limbah M_i yang diterima pada tahun ke-i (tahun desimal, misalnya 3,2 tahun)

b. IPCC

Metode yang diterapkan oleh IPCC juga digunakan untuk menghitung estimasi emisi GRK di TPA (Tempat Pembuangan Akhir), dengan data yang dibutuhkan mencakup timbulan sampah tahunan dan komposisi sampah yang sesuai dengan kondisi lapangan (Yulianto et al., 2020). Parameter yang digunakan harus

disesuaikan dengan kondisi anaerobik, kelembapan, dan umur TPA, seperti yang terdapat di TPA Rawa Kucing. Selain itu, diperlukan data mengenai *Degradable Organic Carbon* (DOC) yang menggambarkan komposisi sampah organik, serta faktor emisi (EF), fraksi DOC yang berubah menjadi metana (DOCf), dan nilai oksidasi permukaan tanah yang diukur dengan data lapangan untuk menghitung potensi emisi metana secara akurat (Wang et al., 2021).

$$CH_4 = \sum (DOC \times DOCf \times MCF \times EF - Recovery) \quad (14)$$

c. Analisis *Life Cycle Assesment* (LCA)

Penilaian Daur Hidup Ulang atau *Life Cycle Assesment* (LCA) dengan acuan SNI ISO 14040:2016 beserta SNI ISO 14044:2017 sebagai salah satu evaluasi untuk penilaian dampak lingkungan potensi dari sistem produk. Pendekatan *LCA* merupakan salah satu menilai secara kuantitatif karena menilai dari *cradle to grave*. Pengambilan keputusan memiliki acuan yang berbasis data dan fakta jika melakukan penilaian daur hidup. *LCA* digunakan. *LCA* dapat dipergunakan mulai dari perancangan produk, pengembangan proses produksi yang lebih baik, inovasi produk serta proses, mengoptimalkan sistem manajemen lingkungan, pemilihan produk atau proses beserta pemilihan pemasok, pemberian informasi lingkungan bagi produk yang perusahaan hasilkan, penentuan strategi perusahaan, hingga pengambilan keputusan bagi kebijakan pada pemerintahan.

1. Memeriksa tujuan dan lingkungan hidup

Memeriksa tujuan dan lingkup Langkah awal yakni menetapkan tujuan dari penelitian ini. Tujuannya yakni guna mendapat skenario pengelolaan sampah yang paling cocok serta memberi hasil emisi lingkungan paling sedikit. Batasan yang ditetapkan pada tiap skenario yang diadaptasi dari literatur (Assamoi dan Lawryshyn, 33 2012) dipaparkan pada Gambar 3.2 sampai Gambar 3.4. Penelitian dilaksanakan sesuai batasan yang ada pada tiap skenario. Aktivitas diluar lingkup *LCA*, misalnya transportasi, tidak lagi dibahas pada penelitian ini.

2. *Life Cycle Inventory* (LCI) Data-data yang sudah didapat (data primer beserta data sekunder) nantinya dimasukkan pada database SimaPro v.8.3.

Metode pada software SimaPro v.8.3 yang nantinya dipergunakan yakni Environmental Product Declaration (EPD) tahun 2013. Data-data yang hendak dimasukkan yakni bahan baku berupa data timbulan sampah.

3. *Life Cycle Impact Assessment (LCIA)* Semua data yang sebelumnya sudah didapat, lalu nantinya diolah mempergunakan software LCIA. Analisis data dilangsungkan pada tiap skenario pengelolaan sampah yang sebelumnya sudah dibuat. Parameter lingkungan yang hendak dikaji yakni eutrofikasi, asidifikasi, beserta Gas Rumah Kaca (GRK)

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

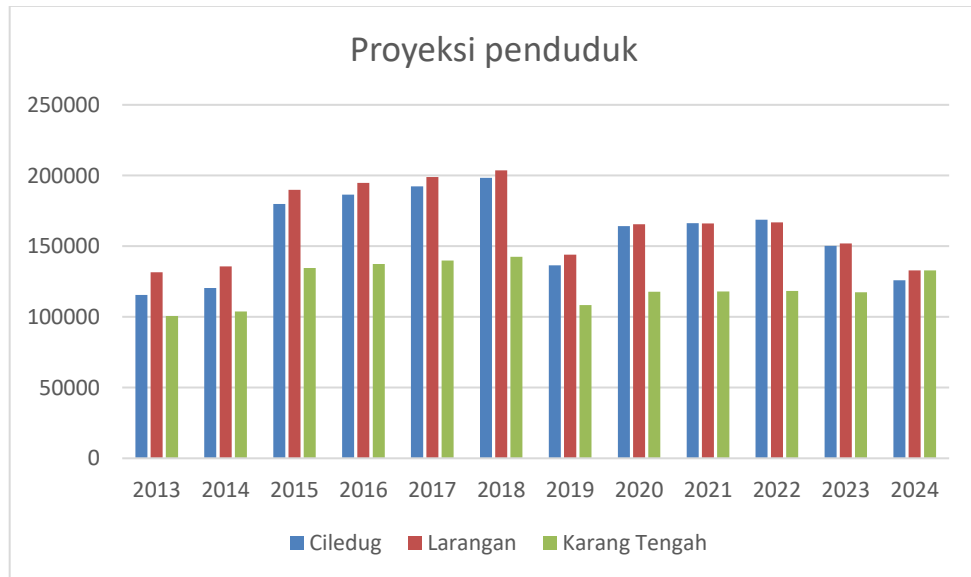
Kota Tangerang memiliki 13 kecamatan dan 104 kelurahan. Kota ini, yang terletak di Banten, menjadi lokasi untuk Tempat Pembuangan Akhir (TPA) Rawa Kucing. TPA Rawa Kucing memiliki luas sebesar 34,8 hektar dengan ketinggian tumpukan sampah mencapai 25 meter. Pada tahun 2024, timbulan sampah di Kota Tangerang diperkirakan sebesar 155.944 m³ per hari, yang akan dikirim ke TPA Rawa Kucing. TPA ini menggunakan metode Sanitary Landfill untuk mengolah sampah, karena mayoritas komposisi sampah yang ada di TPA Rawa Kucing merupakan sampah organik. Oleh karena itu, disarankan untuk menggunakan alternatif teknologi ini, karena memungkinkan untuk pengolahan air lindi.

4.1. Analisis Kuantitas dan Komposisi Sampah

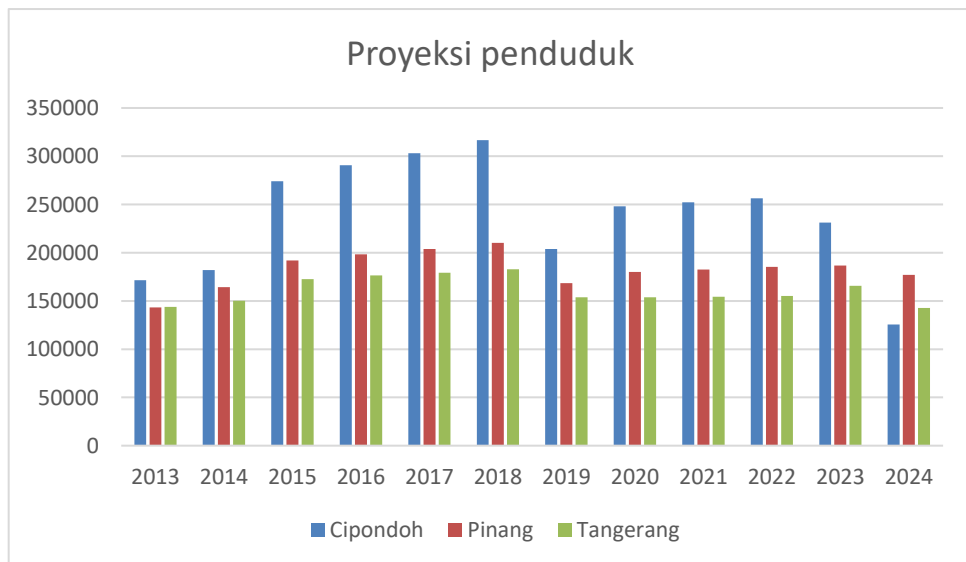
Analisis kuantitas sampah di TPA Rawa Kucing dilaksanakan menggunakan data primer beserta sekunder. Analisis ini berpengaruh terhadap input data yang digunakan. Selain itu, analisis komposisi sampah juga ialah data awal yang hendak dipergunakan pada skenario pengelolaan sampah yang nantinya dianalisis pada penelitian ini.

4.2. Proyeksi Penduduk

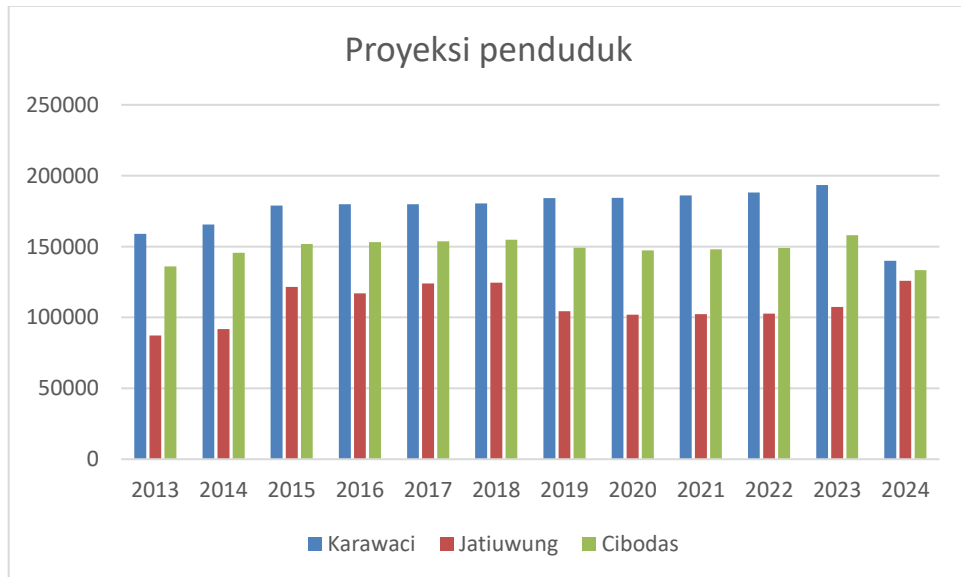
Proyeksi penduduk perlu dilakukan untuk mengetahui jumlah sampah yang terbentuk pada daerah pelayanan, perihal ini mampu ditetapkan menurut jumlah penduduk kecamatan yang dilayanin terlihat pada gambar 4.1 hingga 4.4. Pada Tahun 2024, Kota Tangerang memiliki 1782,222 jiwa dari 13 Kecamatan. Untuk rumus perhitungan berada pada bab 3.4.2., hasil tabel proyeksi mundur, dan proyeksi maju penduduk Kota Tangerang, serta contoh perhitungan terlampir pada lampiran 1.



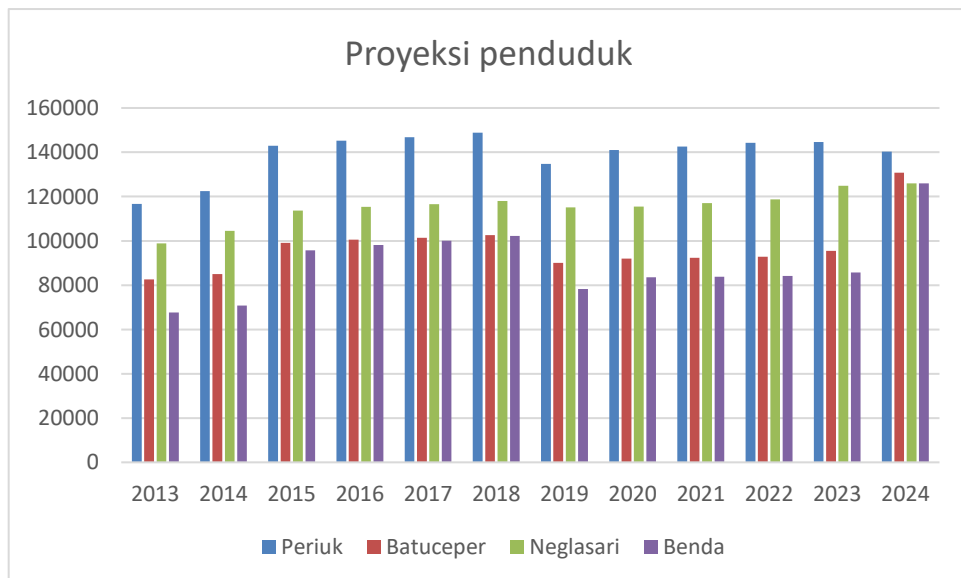
Gambar 4. 1 Proyeksi Penduduk 1



Gambar 4. 2 Proyeksi Penduduk 2



Gambar 4. 3 Proyeksi Penduduk 3



Gambar 4. 4 Proyeksi Penduduk 4

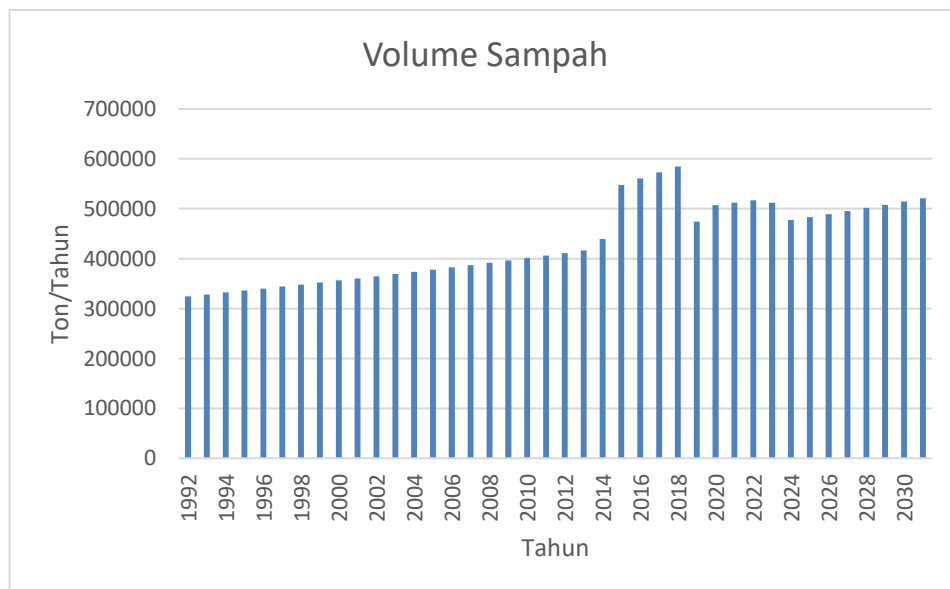
Sumber: Buku Dalam Angka Kota Tangerang

4.3. Timbulan Sampah

Data mengenai kuantitas sampah yang masuk ke TPA Rawa Kucing didapat melewati analisis terhadap jumlah sampah yang diterima. Hal ini dilakukan karena TPA Rawa Kucing belum dilengkapi dengan jembatan timbang, alhasil analisis kuantitas sampah perlu dihitung berdasarkan volume sampah yang masuk bersesuaian dengan jumlah armada pengangkut beserta kapasitas masing-masing. TPA Rawa Kucing direncanakan mempunyai jembatan timbang di tahun 2018.

Untuk menghitung timbulan sampah yang masuk, digunakan metode load count analysis (Tchobanoglous dkk, 1993).

Sesudah melangsungkan perhitungan, timbulan sampah yang Kota Tangerang hasilkan pada dengan jumlah penduduk sebanyak 1782222 jiwa, menghasilkan sampah 56,9197 tom/tahun. Untuk hasil dan table akan terdapat pada Lampiran 2.



Gambar 4. 5 Data Volume Sampah per 2 tahun (1992-2030)

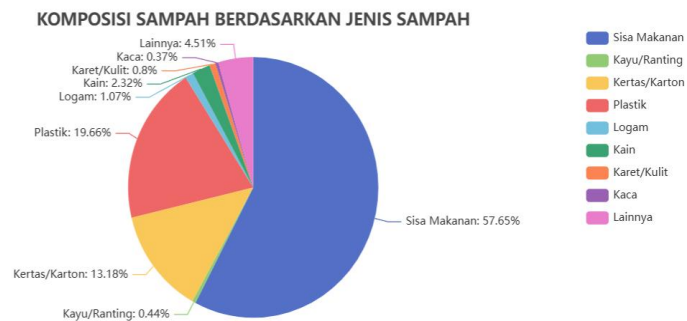
4.4. Komposisi Sampah

Penelitian komposisi sampah pada TPA Rawa Kucing dilangsungkan guna mencari tahu komposisi apa sajakah yang masuk ke TPA. Perihal ini juga ialah satu dari banyaknya landasan pertimbangan guna menyusun skenario pengelolaan sampah apakah yang bersesuaian dengan jumlah komposisi yang ada di TPA Rawa Kucing. Prosentase komposisi sampah di TPA Rawa Kucing di tahun 2024 mampu dipaparkan pada Gambar 4.1. Hasil analisis komposisi sampah ini nantinya memengaruhi pengelolaan sampah yang cocok untuk dilangsungkan di TPA pada table dibawah ini. Untuk contoh perhitungan dan data komposisi sampah Kota Tangerang pada Lampiran 3

Tabel 4. 1 Data Pengelolaan Sampah

No	Komposisi Sampah	%	Berat Jenis (kg/m ³)
1	Sisa Makanan	57.65%	120.3
2	Kayu/ranting	0.44%	40.88

No	Komposisi Sampah	%	Berat Jenis (kg/m ³)
3	Kertas/Karton	13.18%	89.71
4	Plastik	19.66%	65.68
5	Logam	1.07%	160.19
6	Kaca	0.37%	195.43
7	Kain	2.32%	65.68
8	Karet/Kulit	0.80%	129.75
9	Lainnya	4.51%	200
Total		1	



Gambar 4. 6 Komposisi Sampah Berdasarkan Jenis Sampah

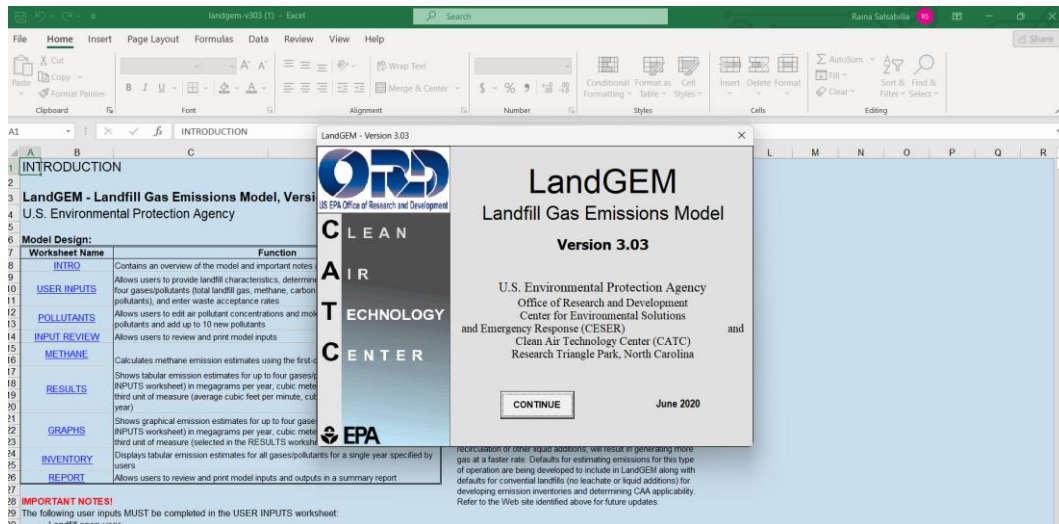
Sumber SISPAN Kota Tangerang

4.5. Perhitungan Potensi Gas Metana dengan LandGEM

4.5.1. Penggunaan Software LandGEM

a. Persiapan Perangkat Lunak

Perangkat lunak LandGEM diunduh melalui situs resmi US EPA. Setelah diinstal, LandGEM dijalankan dalam format Excel yang telah diprogram dengan formula dan makro otomatis. Terdapat tiga tab utama dalam file tersebut, yaitu *User Inputs*, *Results*, dan *Graphs*.



Gambar 4.5.1 1 Display awal aplikasi LandGEM

b. Pengisian Parameter pada Lembar “User Inputs”

Penentuan parameter dasar dalam pemodelan menggunakan LandGEM merupakan tahap krusial untuk menghasilkan estimasi emisi gas metana yang mendekati kondisi aktual di lapangan. Dalam penelitian ini, parameter-parameter utama yang diinputkan ke dalam perangkat lunak LandGEM telah disesuaikan dengan karakteristik iklim, sistem operasional TPA, serta literatur teknis yang relevan.

Periode operasional Tempat Pemrosesan Akhir (TPA) yang digunakan dalam pemodelan adalah dari tahun 1992 hingga 2030, yang merepresentasikan rentang waktu akumulasi timbulan sampah secara historis hingga proyeksi jangka menengah. Nilai timbulan sampah tahunan dimasukkan dalam satuan megagram per tahun (Mg/year), di mana 1 megagram setara dengan 1.000 kilogram atau 1 ton. Nilai ini dihitung berdasarkan hasil proyeksi timbulan sampah dari total populasi dan rata-rata timbulan per kapita.

USER INPUTS

Landfill Name or Identifier:

1: PROVIDE LANDFILL CHARACTERISTICS

Landfill Open Year

1992

Landfill Closure Year

2031

Have Model Calculate Closure Year?

☐ Yes
☒ No

Waste Design Capacity

megagrams

2: DETERMINE MODEL PARAMETERS

Methane Generation Rate, k (year⁻¹)

CAA Conventional - 0.05

Potential Methane Generation Capacity, L_0 (m³/Mg)

CAA Conventional - 170

NMOC Concentration (ppmv as hexane)

Inventory No or Unknown Co-disposal - 600

Methane Content (% by volume)

CAA - 50% by volume

3: SELECT GASES/POLLUTANTS

Gas / Pollutant #1

Total landfill gas

Gas / Pollutant #2

Methane

Gas / Pollutant #3

Carbon dioxide

Gas / Pollutant #4

NMOC

4: ENTER WASTE ACCEPTANCE RATES

Input Units

Mg/year

Year	Input Units (Mg/year)	Calculated Units (short tons/year)
1992	324617	357,079
1993	328373	361,210
1994	332183	365,401
1995	336048	369,653
1996	339968	373,965
1997	343946	378,340
1998	347980	382,778
1999	352074	387,281
2000	356226	391,849
2001	360439	396,483
2002	364714	401,185
2003	369051	405,956
2004	373451	410,796
2005	377915	415,707
2006	382445	420,689
2007	387041	425,745
2008	391705	430,876
2009	396437	436,081
2010	401239	441,363
2011	406112	446,724
2012	411057	452,163
2013	416075	457,683
2014	439575	483,532
2015	547936	602,729

Gambar 4.5.1 2 Pengisian pada sheet user inputs

c. Eksekusi Perhitungan Model

Setelah parameter dimasukkan, perangkat lunak secara otomatis melakukan perhitungan menggunakan pendekatan eksponensial, Hasil perhitungan ini akan menghasilkan estimasi tahunan emisi gas metana, karbon dioksida, NMOC, dan total landfill gas dari tahun 1992 hingga tahun akhir operasional.

RESULTS										
Landfill Name or Identifier:										
Closure Year (with 80-year limit) =				Please choose a third unit of measure to represent all of the emission rates below.						
Methane =				User-specified Unit: av ft ³ /min						
Waste Accepted		Waste-In-Place		Total landfill gas			Methane			
Year	(Mg/year)	(short tons/year)	(Mg)	(short tons)	(Mg/year)	(m ³ /year)	(av ft ³ /min)	(Mg/year)	(m ³ /year)	(av ft ³ /min)
1992	324,617	357,079	0	0	0	0	0	0	0	0
1993	328,373	361,210	324,617	357,079	6.739E+03	5.396E+06	3.626E+02	1.800E+03	2.698E+06	1.813E+02
1994	332,183	365,401	652,991	716,290	1.323E+04	1.059E+07	7.117E+02	3.533E+03	5.296E+06	3.558E+02
1995	336,048	369,653	985,174	1,083,991	1.948E+04	1.560E+07	1.048E+03	5.203E+03	7.795E+06	5.240E+02
1996	339,968	373,965	1,321,221	1,453,343	2.550E+04	2.042E+07	1.372E+03	6.813E+03	1.021E+07	6.861E+02
1997	343,946	378,340	1,661,190	1,827,309	3.132E+04	2.508E+07	1.685E+03	8.365E+03	1.254E+07	8.425E+02
1998	347,980	382,778	2,005,135	2,205,649	3.693E+04	2.957E+07	1.987E+03	9.865E+03	1.479E+07	9.935E+02
1999	352,074	387,281	2,353,115	2,586,427	4.235E+04	3.392E+07	2.279E+03	1.131E+04	1.696E+07	1.139E+03
2000	356,226	391,849	2,705,189	2,975,708	4.760E+04	3.811E+07	2.561E+03	1.271E+04	1.906E+07	1.280E+03
2001	360,439	396,483	3,061,415	3,367,557	5.267E+04	4.218E+07	2.834E+03	1.407E+04	2.109E+07	1.417E+03
2002	364,714	401,185	3,421,855	3,764,040	5.759E+04	4.611E+07	3.098E+03	1.538E+04	2.306E+07	1.549E+03
2003	369,051	405,956	3,786,969	4,165,225	6.235E+04	4.993E+07	3.354E+03	1.685E+04	2.496E+07	1.677E+03
2004	373,451	410,796	4,155,619	4,571,181	6.697E+04	5.363E+07	3.603E+03	1.789E+04	2.681E+07	1.802E+03
2005	377,915	415,707	4,529,070	4,981,977	7.146E+04	5.722E+07	3.844E+03	1.909E+04	2.861E+07	1.922E+03
2006	382,445	420,689	4,906,985	5,397,683	7.582E+04	6.071E+07	4.079E+03	2.025E+04	3.035E+07	2.040E+03
2007	387,041	425,745	5,289,430	5,818,373	8.000E+04	6.411E+07	4.307E+03	2.138E+04	3.205E+07	2.154E+03
2008	391,705	430,876	5,676,871	6,244,118	8.419E+04	6.741E+07	4.530E+03	2.249E+04	3.371E+07	2.265E+03
2009	396,437	436,081	6,068,176	6,674,994	8.821E+04	7.064E+07	4.746E+03	2.356E+04	3.532E+07	2.373E+03
2010	401,239	441,363	6,464,614	7,111,075	9.214E+04	7.378E+07	4.957E+03	2.461E+04	3.689E+07	2.479E+03
2011	406,112	446,724	6,865,853	7,552,438	9.598E+04	7.685E+07	5.164E+03	2.564E+04	3.843E+07	2.582E+03
2012	411,057	452,163	7,271,966	7,999,162	9.973E+04	7.980E+07	5.366E+03	2.664E+04	3.993E+07	2.683E+03

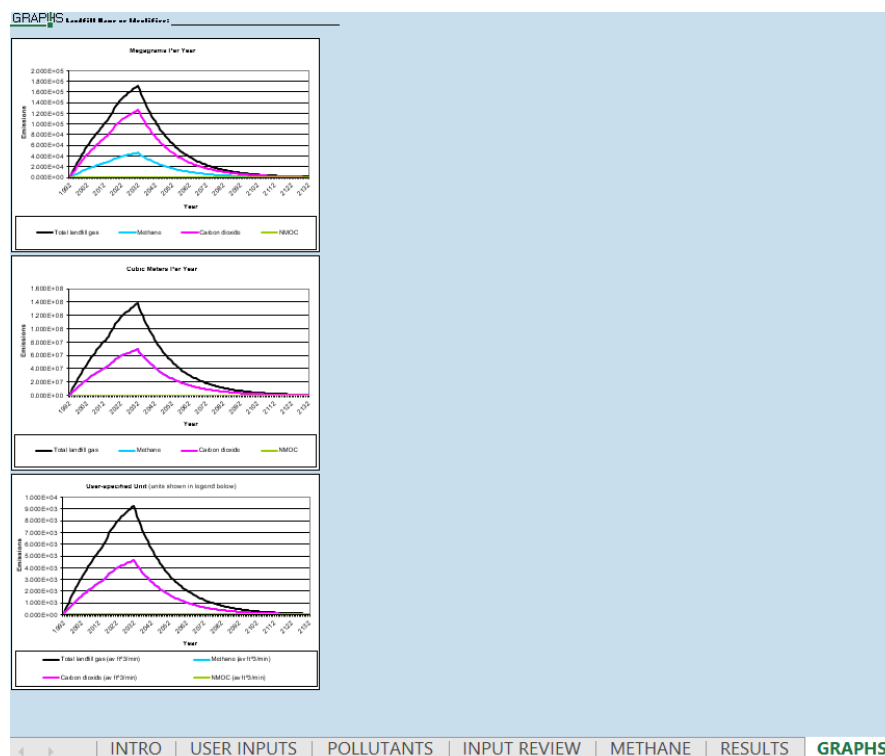
Gambar 4.5.1 3 Hasil perhitungan Total LFG dan metan

RESULTS		Landfill Name or Identifier:									
Closure Year (with 80-year limit) = 2031		Methane = 50 % by volume									
Year	Waste Accepted		Waste-In-Place		Carbon dioxide			NMOC			
	(Mg/year)	(short tons/year)	(Mg)	(short tons)	(Mg/year)	(m ³ /year)	(av ft ³ /min)	(Mg/year)	(m ³ /year)	(av ft ³ /min)	
1992	324,617	357,079	0	0	0	0	0	0	0	0	
1993	328,373	361,210	324,617	357,079	4.939E+03	2.698E+06	1.813E+02	1.161E+01	3.238E+03	2.175E-01	
1994	332,183	365,401	652,991	718,290	9.694E+03	5.296E+06	3.558E+02	2.278E+01	6.355E+03	4.270E-01	
1995	336,048	369,653	985,174	1,083,691	1.428E+04	7.799E+06	5.240E+02	3.354E+01	9.358E+03	6.288E-01	
1996	339,968	373,965	1,321,221	1,453,343	1.869E+04	1.021E+07	6.861E+02	4.392E+01	1.225E+04	8.233E-01	
1997	343,946	378,340	1,661,190	1,827,309	2.295E+04	1.254E+07	8.425E+02	5.394E+01	1.505E+04	1.011E+00	
1998	347,980	382,778	2,005,135	2,205,649	2.707E+04	1.479E+07	9.935E+02	6.360E+01	1.774E+04	1.192E+00	
1999	352,074	387,281	2,353,115	2,588,427	3.104E+04	1.696E+07	1.139E+03	7.294E+01	2.035E+04	1.367E+00	
2000	356,226	391,849	2,705,189	2,975,708	3.488E+04	1.906E+07	1.280E+03	8.197E+01	2.287E+04	1.537E+00	
2001	360,439	396,483	3,061,415	3,387,557	3.860E+04	2.109E+07	1.417E+03	9.071E+01	2.531E+04	1.700E+00	
2002	364,714	401,185	3,421,855	3,764,040	4.220E+04	2.306E+07	1.549E+03	9.917E+01	2.767E+04	1.859E+00	
2003	369,051	405,956	3,786,569	4,165,225	4.569E+04	2.496E+07	1.677E+03	1.074E+02	2.996E+04	2.013E+00	
2004	373,451	410,796	4,155,619	4,571,181	4.908E+04	2.681E+07	1.802E+03	1.153E+02	3.218E+04	2.162E+00	
2005	377,915	415,707	4,529,070	4,981,977	5.237E+04	2.861E+07	1.922E+03	1.231E+02	3.433E+04	2.307E+00	
2006	382,445	420,689	4,906,985	5,397,683	5.566E+04	3.035E+07	2.040E+03	1.306E+02	3.643E+04	2.447E+00	
2007	387,041	425,745	5,289,430	5,818,373	5.867E+04	3.205E+07	2.154E+03	1.379E+02	3.846E+04	2.584E+00	
2008	391,705	430,876	5,676,471	6,244,118	6.170E+04	3.371E+07	2.265E+03	1.450E+02	4.045E+04	2.718E+00	
2009	396,437	436,081	6,068,176	6,674,994	6.465E+04	3.532E+07	2.373E+03	1.519E+02	4.238E+04	2.848E+00	
2010	401,239	441,363	6,464,614	7,111,075	6.753E+04	3.689E+07	2.479E+03	1.587E+02	4.427E+04	2.974E+00	
2011	406,112	446,724	6,865,853	7,552,438	7.034E+04	3.843E+07	2.582E+03	1.653E+02	4.611E+04	3.098E+00	
2012	411,057	452,163	7,271,966	7,999,162	7.309E+04	3.993E+07	2.683E+03	1.717E+02	4.791E+04	3.219E+00	
INTRO		USER INPUTS		POLLUTANTS		INPUT REVIEW		METHANE		RESULTS	
										GRAPHS	

Gambar 4.5.1 4 Hasil perhitungan CO2 dan NMOC

d. Visualisasi dan Interpretasi Hasil

Hasil pemodelan disajikan dalam bentuk tabel dan grafik. Grafik yang ditampilkan menggambarkan tren produksi gas metana dari awal operasi TPA hingga mencapai puncak pada tahun 2027, kemudian menurun secara bertahap hingga stabil pada periode akhir.



Gambar 4.5.1 5 Hasil Grafik

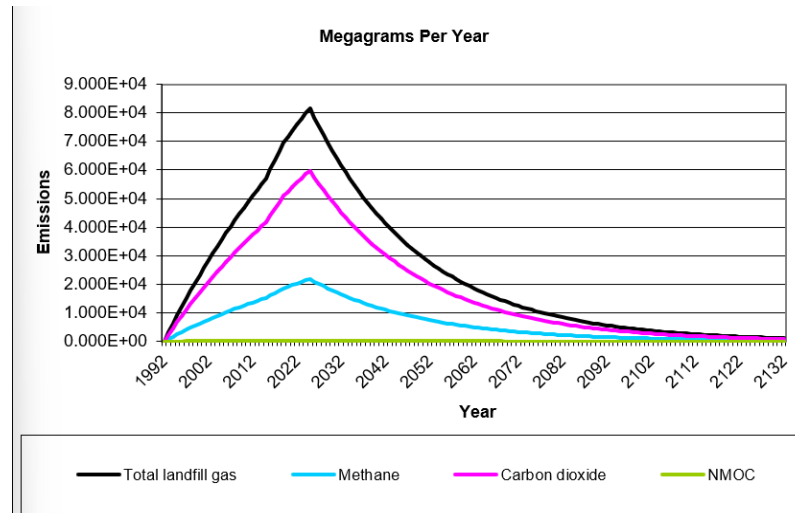
4.5.2. Perhitungan LandGEM

Grafik di atas memperlihatkan proyeksi emisi gas dari TPA Rawa Kucing yang dimodelkan menggunakan perangkat lunak LandGEM. Grafik ini menunjukkan besarnya emisi per tahun dalam satuan megagram (Mg/tahun) terhadap empat jenis gas: total landfill gas, metana (CH_4), karbon dioksida (CO_2), dan *Non-Methane Organic Compounds* (NMOC).

Dari grafik terlihat bahwa total emisi landfill gas (garis hitam), yang merupakan kombinasi dari metana, karbon dioksida, dan NMOC, mengalami peningkatan pesat sejak awal tahun 1990-an dan mencapai puncaknya sekitar tahun 2027. Setelah itu, emisi mulai menurun secara bertahap hingga stabil mendekati tahun 2100 dan seterusnya.

Gas metana (garis biru muda) mengalami tren serupa, dengan peningkatan tajam hingga mencapai titik maksimum sedikit sebelum tahun 2030. Setelah puncaknya tercapai, emisi metana menurun secara eksponensial. Tren ini konsisten dengan proses dekomposisi anaerobik pada timbunan sampah organik, di mana produksi gas metana mencapai puncaknya beberapa tahun setelah sampah tertimbun, lalu menurun seiring berkurangnya material organik yang mudah terurai. Gas karbon dioksida (garis merah muda) menunjukkan tren yang mirip dengan metana, namun dengan nilai puncak yang lebih tinggi. Hal ini menunjukkan bahwa meskipun metana merupakan komponen utama gas landfill, karbon dioksida tetap berkontribusi besar terhadap total emisi akibat dekomposisi aerobik dan transformasi metana. Sementara itu, emisi NMOC (garis kuning) cenderung lebih rendah dibandingkan gas lainnya, tetapi tetap menunjukkan pola puncak dan penurunan yang sama, yang mengindikasikan kontribusi dari senyawa organik volatil non-metana yang ikut terbentuk selama proses dekomposisi.

Setelah mencapai puncak tersebut, produksi gas metana diperkirakan akan mengalami penurunan. Periode waktu yang digunakan untuk model LandGEM mencakup 40 tahun. Untuk tabel data hasil perhitungan LandGEM Kota Tangerang pada Lampiran 4.



Gambar 4. 7 Estimasi Produksi Gas Metana dengan Model Landgem

4.6. Perhitungan Analisa dengan Model IPCC

4.6.1. Penggunaan Software LandGEM

Pada lembar kerja *Parameters* dalam perangkat lunak IPCC, langkah awal yang dilakukan adalah mengisi identitas wilayah studi, yaitu lokasi Tempat Pemrosesan Akhir (TPA) Rawa Kucing. Pengguna memilih negara Indonesia dan wilayah Asia Tenggara (Asia–Southeast) sebagai cakupan regional Langkah selanjutnya adalah mengatur metode perhitungan timbunan berdasarkan komposisi (*waste by composition*). Nilai Degradable Organic Carbon (DOC) dan fraction of DOC dissimilated (DOCf) yang digunakan mengikuti rentang nilai baku (*default*) yang telah disediakan dalam sistem, sesuai dengan parameter standar untuk wilayah Asia Tenggara.

Kemudian, nilai laju dekomposisi (*k*) ditentukan berdasarkan klasifikasi iklim lokasi TPA Rawa Kucing, yaitu “moist and wet tropical”. Nilai tersebut secara otomatis disesuaikan oleh sistem menggunakan nilai baku yang telah ditetapkan untuk tipe iklim tersebut. Beberapa parameter lain seperti waktu tunda pembentukan gas (*delay time*), fraksi gas metana (*fraction of methane*), faktor konversi, serta faktor oksidasi (*oxidation factor / OX*) digunakan sesuai nilai standar (*default*) yang tersedia dalam sistem, karena tidak tersedia data spesifik dari kondisi eksisting di lapangan. Pada lembar *MCF*, nilai country-specific value

dan fixed country-specific value juga digunakan sebagaimana pengaturan bawaan dari perangkat lunak, mengikuti parameter regional untuk negara Indonesia. Selanjutnya, pada lembar *Activity*, pengguna memasukkan jumlah penduduk dan timbulan sampah per kapita sesuai dengan nilai yang ditetapkan untuk Indonesia, yaitu sebesar 280 kg/kapita/tahun. Nilai ini diperoleh dari referensi resmi yang tercantum dalam *Buku Pedoman IPCC Volume 4: Limbah*, yang diterbitkan oleh Kementerian Lingkungan Hidup. Berdasarkan hasil pemodelan menggunakan pendekatan IPCC, estimasi emisi gas metana menunjukkan kecenderungan meningkat selama periode TPA masih menerima timbulan sampah, yaitu dari tahun 1992 hingga 2030. Dari keseluruhan komposisi sampah, sisa makanan tercatat sebagai kontributor utama terhadap pembentukan emisi metana.

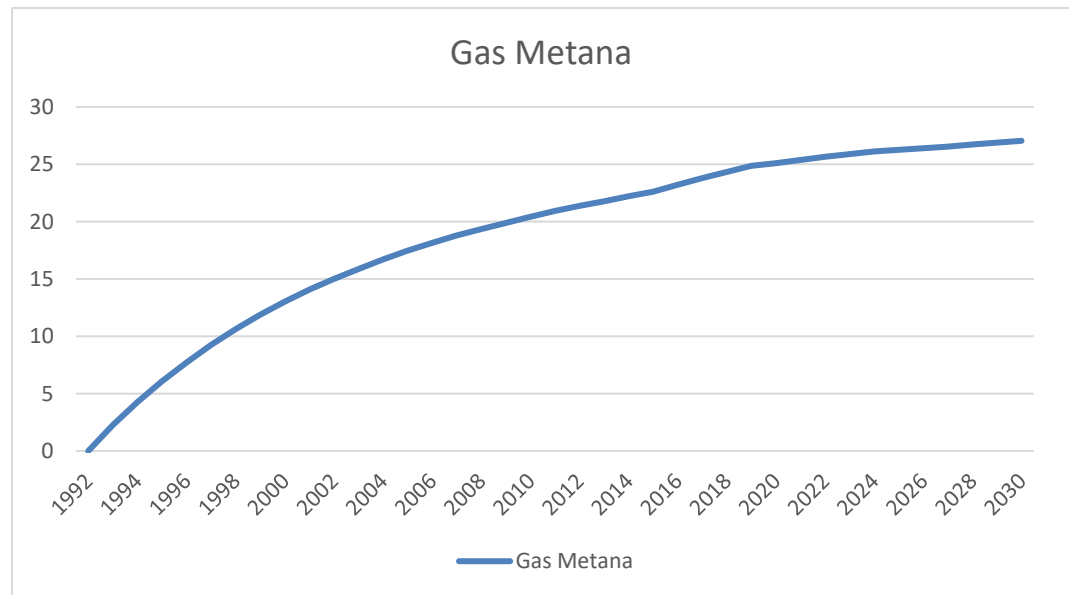
4.6.2. Perhitungan LandGEM

Gas metana dihasilkan dari dekomposisi sampah organik dalam kondisi anaerob, seperti yang terjadi di TPA tertutup. Guna mengestimasi emisi metana dari beragam sumber, digunakan metode yang dikembangkan oleh IPCC. Metode ini menghitung emisi berdasarkan data aktivitas manusia, misalnya jumlah produksi sampah, serta faktor emisi yang mempertimbangkan karakteristik lokal, sistem pengelolaan sampah, beserta kondisi lingkungan. Dalam penelitian ini, estimasi emisi metana dilakukan berdasarkan skenario di mana sampah langsung ditampung di TPA Rawa Kucing tanpa proses pengomposan atau daur ulang di sumbernya. Hasil estimasi emisi metana dari sampah di TPA Rawa Kucing disajikan sebagai berikut.

Grafik pada gambar 4.8 menunjukkan grafik emisi gas metana (CH_4) di Tempat Pemrosesan Akhir (TPA) Rawa Kucing dari tahun 1992 hingga 2030 berdasarkan perhitungan menggunakan metode IPCC. Terlihat bahwa emisi gas metana mengalami peningkatan secara bertahap dari tahun ke tahun.

Pada awal tahun 1992, emisi gas metana masih sangat rendah, seiring dengan belum banyaknya akumulasi sampah di lokasi TPA. Seiring berjalannya waktu dan bertambahnya volume timbulan sampah organik, emisi gas metana menunjukkan tren meningkat secara signifikan hingga tahun 2016. Hal ini disebabkan oleh proses dekomposisi anaerobik bahan organik dalam timbunan sampah yang menghasilkan

gas metana sebagai salah satu produk utamanya. Setelah tahun 2016, laju peningkatan emisi mulai melambat. Hal ini mengindikasikan bahwa sebagian besar sampah yang tertimbun sudah memasuki fase stabil, yaitu fase di mana produksi gas metana mulai menurun. Meski demikian, total emisi gas metana tetap tinggi hingga mencapai puncaknya mendekati tahun 2030.



Gambar 4. 8 Estimasi Produksi Gas Metana dengan Model IPCC

4.7. Perbandingan Hasil LandGEM dengan IPCC

Perbedaan paling mencolok diantara model LandGEM beserta IPCC berada pada jenis persamaan kinetika yang dipergunakan guna memprediksi emisi gas metana dari Tempat Pembuangan Akhir (TPA). Model LandGEM mengaplikasikan persamaan orde pertama, yang memberi hasil peningkatan produksi gas metana secara bertahap hingga mencapai puncak dan kemudian mengalami penurunan. Sebaliknya, model IPCC mengadopsi persamaan orde nol, yang menghasilkan emisi gas metana yang relatif stabil sepanjang waktu, dengan anggapan adanya sistem pengelolaan gas metana yang efektif. Untuk IPCC sendiri mengacu pada buku panduan yang dimana sudah *default* pada negara, tidak dapat banyak yang diubah seperti LandGEM.

Dalam upaya mengestimasi emisi gas metana di Tempat Pemrosesan Akhir (TPA) Rawa Kucing, telah dilakukan pemodelan menggunakan dua pendekatan berbeda, yaitu metode IPCC dan perangkat lunak LandGEM. Kedua grafik hasil pemodelan tersebut menunjukkan perbedaan pola emisi metana dari waktu ke waktu. Grafik berdasarkan metode IPCC menunjukkan bahwa emisi gas metana mengalami peningkatan secara bertahap dari tahun 1992 hingga 2030. Kenaikan ini bersifat kumulatif dan cenderung melandai mendekati akhir periode proyeksi. Pola ini mencerminkan bahwa metode IPCC berfokus pada estimasi total emisi berdasarkan populasi, timbunan sampah per kapita, dan faktor emisi standar. Metode ini tergolong sederhana dan umum digunakan dalam penyusunan inventarisasi emisi gas rumah kaca secara nasional atau regional.

Sebaliknya, grafik hasil pemodelan dengan LandGEM memperlihatkan pola yang jauh lebih dinamis. Emisi gas metana meningkat tajam sejak awal periode, mencapai puncak sekitar tahun 2027, dan kemudian menurun secara eksponensial. Pola ini menggambarkan proses dekomposisi anaerobik dalam landfill yang menghasilkan gas metana secara intensif pada tahun-tahun awal, lalu menurun seiring menurunnya ketersediaan bahan organik yang mudah terurai. Selain itu, LandGEM juga memodelkan jenis gas lainnya seperti karbon dioksida (CO₂) dan senyawa organik nonmetana (NMOC), sehingga memberikan gambaran yang lebih menyeluruh mengenai emisi gas di TPA.

Tabel 4. 2 Hasil Perbandingan Perhitungan dengan LandGEM & IPCC

Perbandingan	Eksisting	Proyeksi
LandGEM	2,701	3,830
IPCC	1,844	2,285

4.8. Analisis Dampak Lingkungan

Analisis Siklus Hidup (Life Cycle Assessment atau LCA) yakni sebuah metode yang dipergunakan guna melangsungkan evaluasi dampak lingkungan dari sebuah produk atau proses dari awal sampai akhir siklus hidupnya. Pada konteks pengelolaan sampah, LCA mampu dipergunakan guna membandingkan serta melangsungkan evaluasi pada dampak lingkungan dari beragam skenario pengelolaan sampah.

4.8.1. Inventory Analisis

Pada penelitian ini, input sumber daya per ton sampah yang diolah dapat dilihat pada Tabel 4.8.1 1 untuk Controlled Landfill, Tabel 4.8.1 2 Pengomposan dan 3R, dan Tabel 4.8.1 3 *Methane Capture* Analisis input–output ketiga skenario menunjukkan bahwa pengomposan dan methane capture mampu mengurangi emisi gas rumah kaca dan menghasilkan energi, dibandingkan dengan skenario *controlled landfill* yang menghasilkan lebih banyak residu. Kombinasi pendekatan komposting, 3R, dan methane capture sangat disarankan dalam upaya pengelolaan sampah berkelanjutan di TPA Rawa Kucing. Untuk perhitungan sampah yang terdapat pada scenario yang diinput untuk inventory analisis terdapat pada lampiran 5.

Tabel 4.8.1 3 Controlled Landfill

controlled landfill					
Input			output		
material	kuantitas	satuan	material	kuantitas	satuan
Sisa makanan	212.660	ton	co2	122253.206	kwh
sampah kebun	72.266	ton	residu	852.4163105	kg
Plastik	116.106	ton	methane	77872.48747	-
kertas/karton	158.585	ton	lindi	0.060184948	
besi/logam	116.106	ton			
kaca	116.106	ton			
karet	345.471	ton			
kain	283.176	ton			
sampah lainnya	229.366	ton			
total	1649.841	ton			
diesel	3629.64984	L			
pengangkutan	72592.9968				
total	76222.6466				

Tabel 4.8.1 4 Pongomposan dan 3R

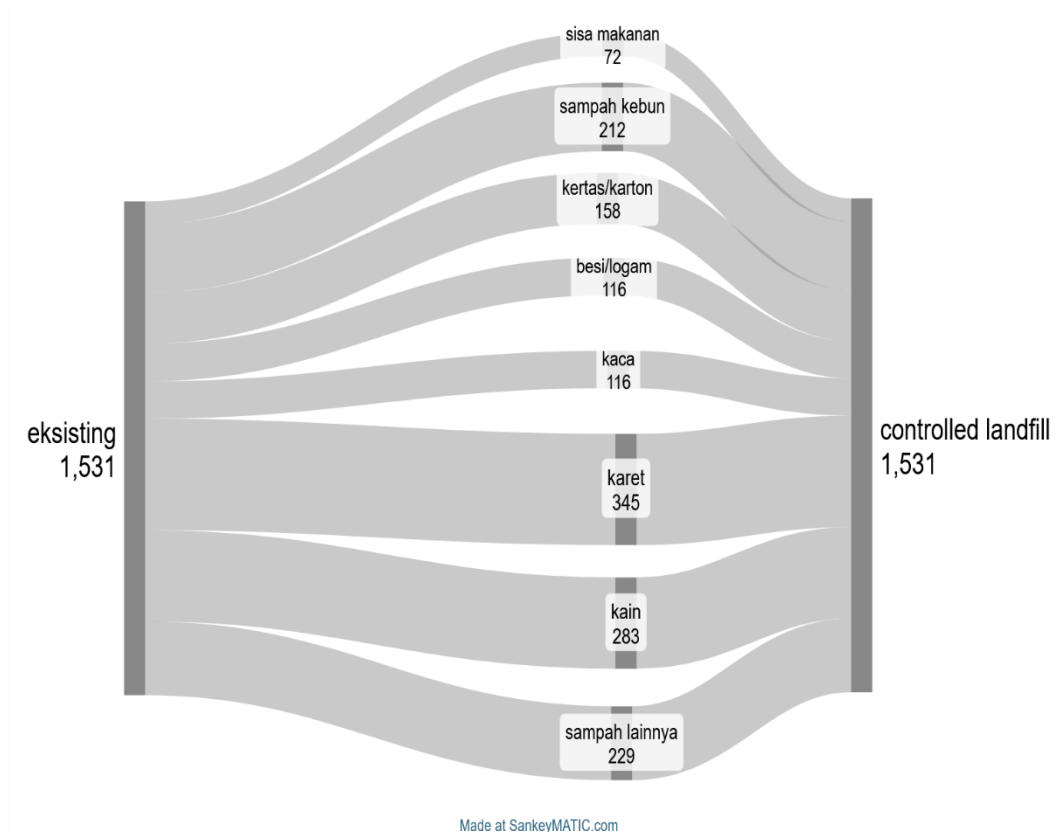
pengomposan AD 3r					
Input			output		
material	kuantitas	satuan	material	kuantitas	satuan
Sampah Organik	284.93	ton	CH4	15176.75187	G/KG
komposting	53.92	ton	N2O	0.204569657	G/L
AD	647.00	ton	Residu	798	KG/TAHUN
Total kompos	985.84	ton	lindi	0.026739559	L/TAHUN
Non-Organik	852	ton	CO2	21113.00947	G/L
bbm pencacah	1875	L			
total 3R	2728	ton			
total	3713	ton			

Tabel 4.8.1 5 Methane Capture

methane capture								
Input			output					
material	kuantitas	satuan	material	kuantitas	satuan	material	kuantitas	satuan
sampah organik	285	ton	listrik	44.60657	Kwh	energi bruto	85478	kWh
Gas LFG	30	m³/tahun	metana	1542.215	-		29917	kWh
METANA	15	m³/h	CO2	21113.01	G/L	listrikk	29.92	Gwh
BIOGAS	150							
total	479	ton						
pipa	0.00031801	m						
Plastik	116,105.80	ton						
kertas/karton	158,584.83	ton						
besi/logam	116,105.80	ton						
kaca	116,105.80	ton						
karet	345,471.33	ton						
kain	283,175.83	ton						
sampah lainnya	229,365.53	ton						
total	1,364,914.93	ton						

4.8.2. Potensi Pemanfaatan Skenario 1

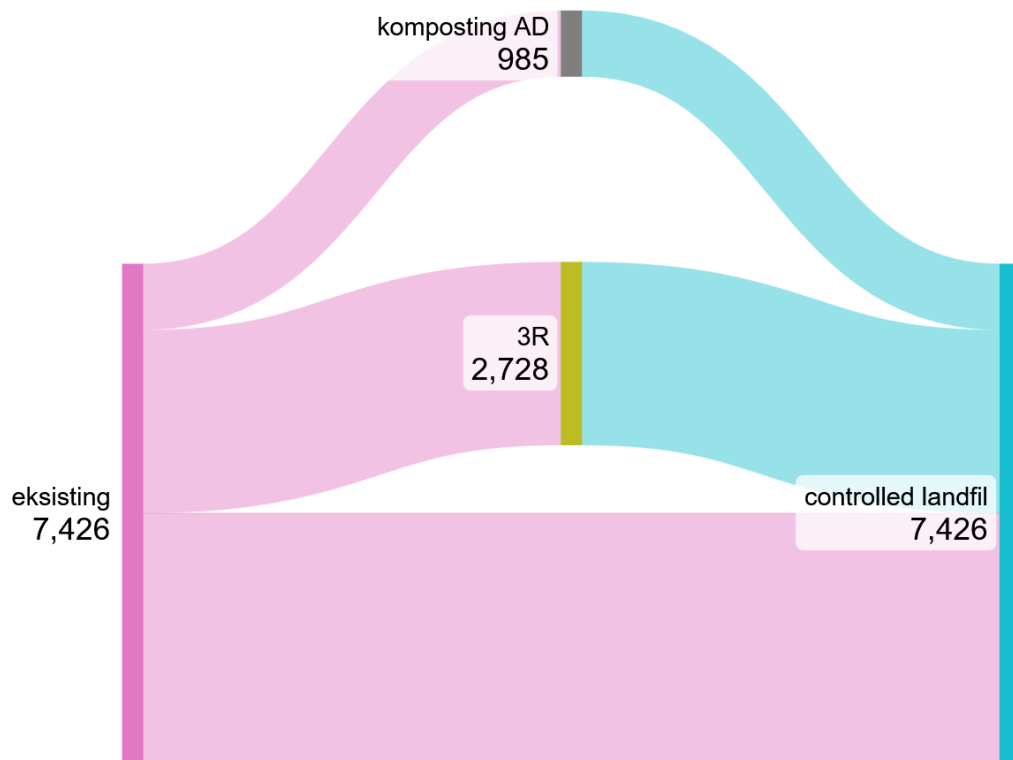
Skenario 1 tersusun atas daur ulang, pengomposan, beserta insinerasi. Melalui penggunaan nilai recovery factor tiap jenis sampah, alhasil mampu diketahui kuantitas sampah yang di daur ulang, pengomposan, beserta sisanya masuk ke sanitary landfill. Perhitungan material balance scenario 1



Gambar 4.8 2 Sankei Controlled Landfill

4.8.3. Potensi Pemanfaatan Skenario 2

Skenario 1 tersusun atas daur ulang, pengomposan, beserta insinerasi. Melalui penggunaan nilai recovery factor tiap jenis sampah, alhasil mampu diketahui kuantitas sampah yang di daur ulang, pengomposan, beserta sisanya nantinya mengalami penangkapan gas. Perhitungan material balance dari skenario 2.

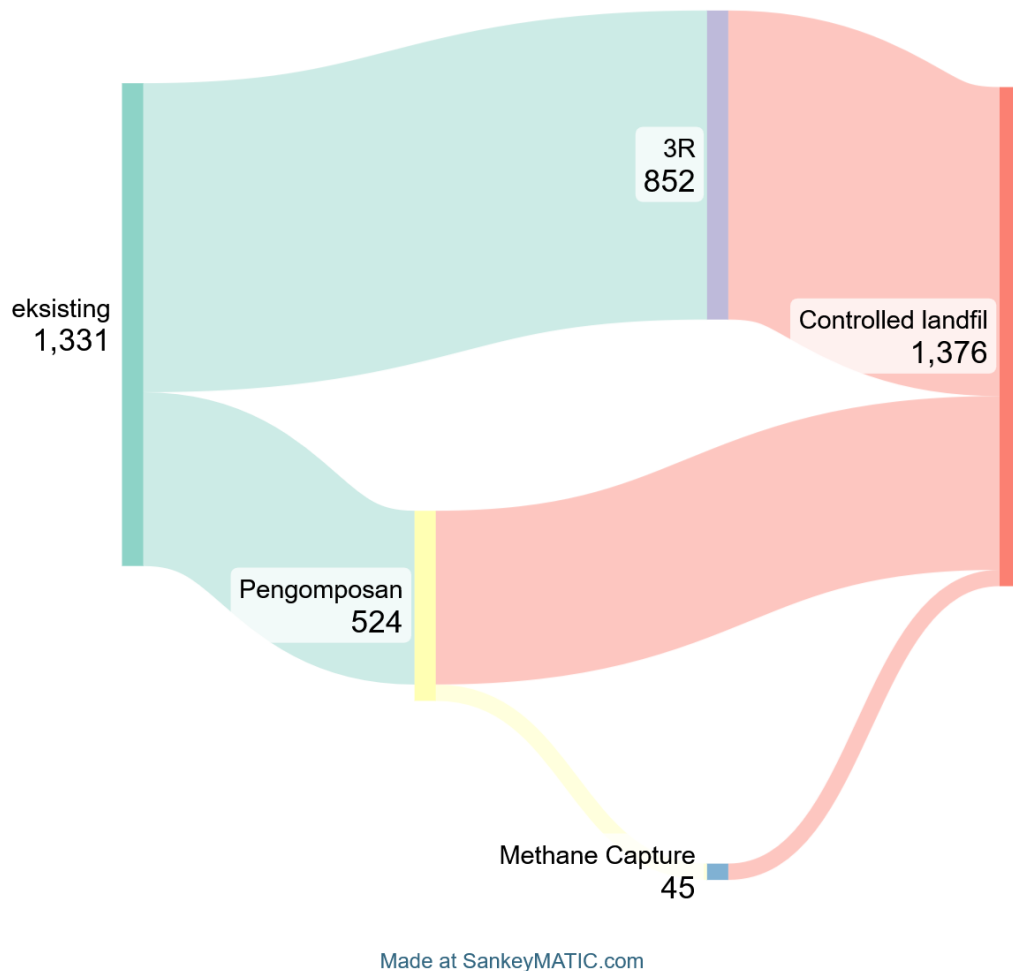


Made at SankeyMATIC.com

Gambar 4.8 3 Sankei Pengomposan 3R

4.8.4. Potensi Pemanfaatan Skenario 3

Skenario 1 tersusun atas daur ulang, pengomposan beserta insinerasi. Melalui penggunaan nilai recovery factor tiap jenis sampah, alhasil mampu diketahui kuantitas sampah yang di daur ulang, pengomposan, beserta sisanya nantinya mengalami penangkapan gas serta masuk pada sanitary landfill. Perhitungan material balance dari skenario 3



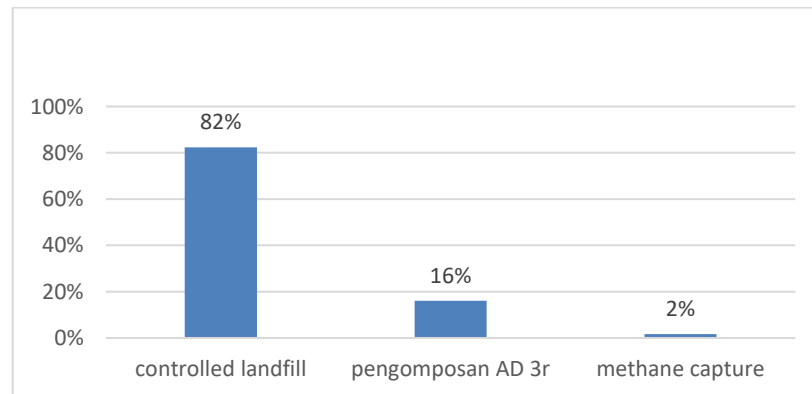
Gambar 4.8 4 Sankei *Methane Capture*

4.8.5. Perbandingan Gas Metana Per Skenario

Emisi gas rumah kaca, khususnya metana (CH_4), yakni satu dari banyaknya faktor utama yang berkontribusi terhadap pemanasan global. Dalam upaya mengurangi dampak perubahan iklim, penting untuk memahami sumber dan jumlah emisi metana yang dihasilkan dari berbagai metode pengelolaan sampah. Dalam penelitian ini, dilakukan analisis terhadap tiga metode pengelolaan sampah yang berbeda: *controlled landfill*, pengomposan dengan *anaerobic digestion* 3R, dan *methane capture*.

Tabel 4. 3 Perbandingan Hasil Analisis *Controlled Landfill*, Pengomposan Dengan *Anaerobic Digestion 3R*, Dan *Methane Capture*

metane	
controlled landfill	77,872.49
pengomposan AD 3r	15,176.75
methane capture	1,542.22



Gambar 4. 9 Perbandingan Hasil Analisis *Controlled Landfill*, Pengomposan Dengan *Anaerobic Digestion 3R*, Dan *Methane Capture*

1. *Controlled Landfill*

Metode *controlled landfill* atau tempat pembuangan akhir sampah (TPA) yang dikelola dengan baik ialah satu dari sejumlah metode pengelolaan sampah yang paling umum dipergunakan. Namun, meskipun memiliki pengelolaan yang lebih baik dibandingkan dengan pembuangan sampah sembarangan, *controlled landfill* masih menghasilkan emisi metana yang cukup signifikan. Berdasarkan data yang diperoleh, emisi metana dari *controlled landfill* tercatat sebesar 77.872 ton. Angka ini menunjukkan bahwa meskipun proses pengelolaan sampah dilakukan dengan standar yang lebih baik, pembusukan sampah organik dalam kondisi anaerobik di dalam TPA tetap menghasilkan gas metana dalam jumlah besar, yang dapat berkontribusi terhadap pemanasan global.

2. Pengomposan AD dan 3R

Metode pengomposan yang dilakukan dengan pendekatan 3R (*Reduce, Reuse, Recycle*) memiliki potensi untuk mengurangi emisi metana dibandingkan dengan *sanitary landfill*. Dalam proses pengomposan, sampah organik dikelola dengan cara yang memungkinkan penguraian bahan organik oleh mikroorganisme dalam

kondisi aerobik (dengan oksigen), yang mengurangi produksi metana. Berdasarkan data, emisi metana yang dihasilkan dari pengomposan dengan AD dan 3R tercatat sebesar 15.176 ton. Angka ini lebih rendah dibandingkan dengan *sanitary landfill*, yang mengindikasikan bahwa pengomposan adalah metode yang lebih ramah lingkungan dalam pengelolaan sampah organik, dengan mengurangi emisi gas rumah kaca, termasuk metana.

3. *Methane Capture*

Metode *methane capture* atau penangkapan metana adalah teknologi yang digunakan untuk menangkap metana yang dihasilkan di tempat pembuangan akhir sampah, lalu mengolahnya menjadi energi atau mengurangi emisi langsung ke atmosfer. Metode ini merupakan salah satu upaya efektif guna meminimalkan dampak negatif dari metana yang dihasilkan oleh TPA. Berdasarkan data yang tersedia, emisi metana dari *methane capture* tercatat sebesar 1.542 ton. Angka ini menunjukkan bahwa dengan menggunakan teknologi *capture*, sebagian besar metana yang seharusnya dilepaskan ke atmosfer dapat dikendalikan, sehingga mengurangi kontribusi metana terhadap perubahan iklim.

Pada Gambar 4.9 dapat disimpulkan bahwa *sanitary landfill* menghasilkan emisi metana yang paling tinggi dibanding dua metode lainnya. dari Pengomposan dengan AD dan 3R dan *methane capture* dapat mengurangi jumlah emisi metana secara signifikan, dengan *methane capture* menunjukkan potensi terbesar dalam menangkap metana yang dihasilkan dari TPA. Secara keseluruhan, *methane capture* adalah metode yang paling efektif dalam mengurangi emisi metana, sementara pengomposan 3R dapat menjadi alternatif yang ramah lingkungan dengan meminimalisir emisi metana melalui pengelolaan sampah organik yang tepat. Oleh karena itu, dalam upaya mengurangi dampak perubahan iklim, penerapan teknologi seperti *methane capture* dan pengomposan harus didorong untuk lebih banyak diterapkan, sementara *sanitary landfill* perlu dikendalikan dengan penerapan teknologi yang lebih efisien dan ramah lingkungan.

4.8.6. Dampak Lingkungan

Dampak lingkungan dari tiga skenario yang dianalisis menunjukkan hasil yang berbeda untuk berbagai kategori. Berikut adalah deskripsi dampaknya

1. *Controlled Landfill*

- a. Pengasaman (*Acidification*): proses dekomposisi anaerobik dalam *landfill* dapat menghasilkan gas asam seperti H_2S dan NH_3 , yang berkontribusi terhadap pengasaman tanah dan air.
- b. Penggunaan Air Tawar (*Fresh Water*): *Landfill* dapat mempengaruhi kualitas air tanah melalui perembesan lindi (*leachate*) yang mengandung logam berat dan senyawa organik terlarut. Pemanasan Global (*Global Warming*): *Landfill* merupakan sumber utama emisi metana (CH_4), gas rumah kaca yang memiliki potensi pemanasan global jauh lebih tinggi dibandingkan CO_2 . Emisi gas rumah kaca utama dari *controlled landfill* adalah metana (CH_4), yang dihasilkan dari dekomposisi anaerobik sampah organik. Metana memiliki potensi pemanasan global (*Global Warming Potential/GWP*) yang jauh lebih tinggi dibandingkan dengan CO_2 , yakni sekitar 25 kali lebih kuat dalam menjebak panas di atmosfer. Tanpa sistem pengelolaan gas yang efektif, seperti koleksi dan pembakaran gas (*flaring*) atau pemanfaatan energi (*energy recovery*), emisi metana dari *landfill* dapat mencapai sekitar 1.749 kg CO_2 eq per ton sampah. Dengan *flaring*, dampak pemanasan global dapat berkurang hingga 59%, dan dengan pemanfaatan energi, penurunan mencapai 64%.
- c. Toksisitas Manusia (*Human Toxicity*): Lindi dari *landfill* dapat mengandung senyawa berbahaya seperti fenol, arsenik, dan kadmium yang berpotensi menimbulkan efek toksik pada manusia.
- d. Pembentukan Ozon Fotokimia (*Photochemical Oxidation*): Emisi gas seperti NO_x dan VOCs dari *landfill* dapat berkontribusi terhadap pembentukan ozon fotokimia, yang berpotensi merusak kualitas udara. Nilai 58,90 kg C_2H_4 ekuivalen per ton sampah organik dalam analisis LCA (*Life Cycle Assessment*) untuk metode *controlled landfill* menunjukkan potensi dampak terhadap pembentukan ozon troposferik atau smog foto-kimia. Meskipun tidak langsung berbahaya bagi manusia, dampak ini dapat

mempengaruhi kualitas udara dan kesehatan makhluk hidup secara tidak langsung.

2. Pengomposan dan 3R

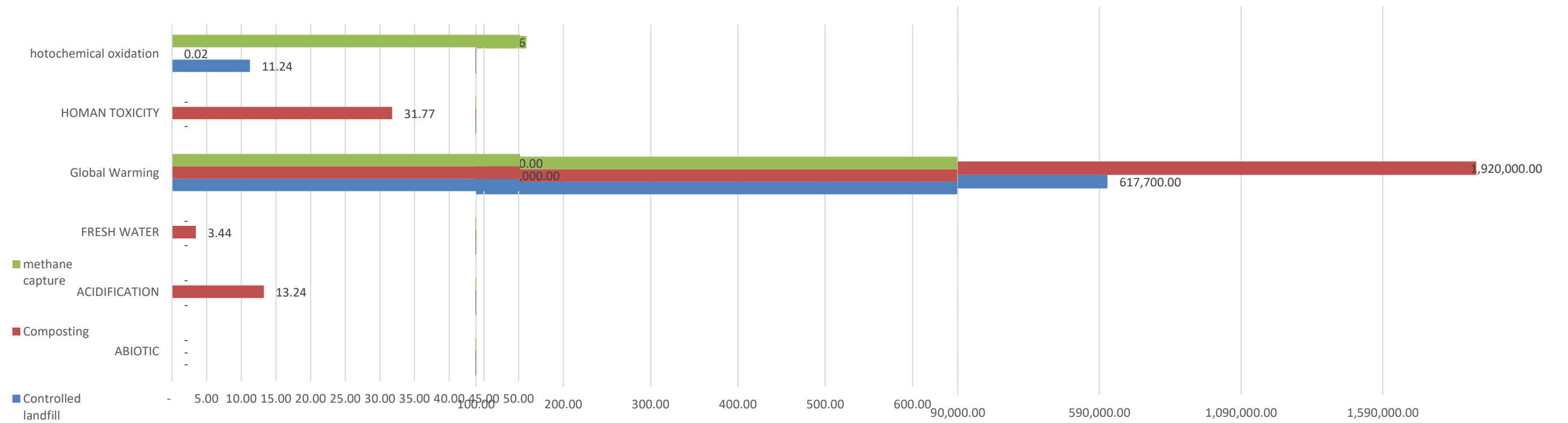
- a. Pengasaman (*Acidification*): Emisi amonia (NH_3) selama proses komposting dapat menyebabkan pengasaman tanah jika tidak dikelola dengan baik. . Pada LCA menghasilkan 3,24 kg SO_2 ekuivalen per ton sampah organik dalam komposting tidak langsung berbahaya bagi manusia, pengasaman lingkungan yang ditunjukkan oleh angka tersebut dapat memiliki dampak serius terhadap ekosistem dan makhluk hidup. Oleh karena itu, penting untuk mengelola proses komposting dengan baik, seperti mengontrol kelembaban dan aerasi, serta memilih bahan baku yang tepat, untuk meminimalkan dampak negatif terhadap lingkungan.
- b. Penggunaan Air Tawar (*Fresh Water*): Proses komposting umumnya tidak memerlukan penggunaan air tawar dalam jumlah besar, namun pengelolaan kelembaban yang tepat diperlukan untuk mencegah kontaminasi air.
- c. Pemanasan Global (*Global Warming*): Komposting dapat menghasilkan emisi gas rumah kaca seperti CO_2 dan N_2O , terutama jika prosesnya tidak diawasi dengan baik. Angka 1.920.000 kg CO_2 ekuivalen per ton sampah organik dalam analisis LCA (Life Cycle Assessment) untuk metode komposting menunjukkan potensi emisi gas rumah kaca yang sangat tinggi. Emisi sebesar itu setara dengan emisi tahunan dari sekitar 400 mobil pribadi yang beroperasi sepanjang tahun. Angka ini menunjukkan bahwa proses komposting, jika tidak dikelola dengan baik, dapat berkontribusi signifikan terhadap pemanasan global.
- d. Toksisitas Manusia (*Human Toxicity*): Proses komposting dapat menghasilkan senyawa berbahaya seperti logam berat jika bahan baku tidak dikelola dengan benar.
- e. Pembentukan Ozon Fotokimia (*Photochemical Oxidation*): Emisi gas seperti NH_3 dan VOCs selama komposting dapat berkontribusi terhadap pembentukan ozon fotokimia, yang berpotensi merusak kualitas udara. nilai 11,24 kg C_2H_4 ekuivalen per ton sampah organik dalam proses komposting tidak langsung berbahaya bagi manusia, dampak terhadap pembentukan

ozon troposferik dapat mempengaruhi kualitas udara dan kesehatan makhluk hidup secara tidak langsung. Dengan pengelolaan yang tepat dan penerapan langkah mitigasi, dampak negatif tersebut dapat diminimalkan. Penting bagi masyarakat dan pihak terkait untuk memahami dan mengelola proses komposting dengan bijak guna menjaga keberlanjutan lingkungan dan kesehatan bersama.

3. Methane Capture

- a. Pengasaman (*Acidification*): Metode ini tidak secara langsung berkontribusi terhadap pengasaman, namun pengelolaan gas yang tidak tepat dapat menghasilkan senyawa asam.
- b. Penggunaan Air Tawar (*Fresh Water*): Penangkapan metana tidak memerlukan penggunaan air tawar dalam prosesnya.
- c. Pemanasan Global (*Global Warming*): Dengan menangkap dan memanfaatkan metana, metode ini dapat mengurangi emisi gas rumah kaca, berkontribusi pada mitigasi perubahan iklim. nilai 86.090 kg CO₂ ekuivalen per ton sampah organik dalam proses *methane capture* menunjukkan potensi dampak pemanasan global yang signifikan, proses ini sebenarnya bertujuan untuk mengurangi emisi metana dan dampaknya terhadap iklim. Efisiensi dalam penangkapan dan pemanfaatan metana sangat penting untuk memastikan bahwa proses ini memberikan manfaat lingkungan yang maksimal. Dengan pengelolaan yang tepat, *methane capture* dapat menjadi langkah penting dalam mitigasi perubahan iklim dan perlindungan terhadap makhluk hidup dan lingkungan.
- d. Toksisitas Manusia (*Human Toxicity*): Metode ini dapat mengurangi potensi toksisitas manusia dengan mengurangi emisi gas berbahaya dari landfill.
- e. Pembentukan Ozon Fotokimia (*Photochemical Oxidation*): Dengan mengurangi emisi gas seperti CH₄, metode ini dapat membantu mengurangi pembentukan ozon fotokimia. Nilai 0,02 kg C₂H₄ ekuivalen per ton sampah organik dalam analisis LCA (Life Cycle Assessment) untuk proses *methane capture* menunjukkan dampak potensial terhadap pembentukan ozon troposferik atau smog foto-kimia. Namun, nilai ini sangat rendah dan tidak

menunjukkan potensi dampak yang signifikan terhadap kesehatan manusia atau lingkungan.



Gambar 4. 10 Dampak Lingkungan dari Penggunaan 3 Metode Pengelolaan Sampah: Controlled Landfill, Pengomposan Dengan Anaerobic Digestion 3R, Dan Methane Capture

4.8.7. Peran Pemerintah terhadap Perubahan Iklim

Perubahan Iklim yakni berubahnya iklim akibat dampak langsung atau tidak langsung oleh aktivitas manusia, alhasil mengakibatkan berubahnya komposisi atmosfer secara global serta berubahnya variabilitas iklim alamiah yang telah diamati pada kurun waktu yang mampu dibandingkan. Gas Rumah Kaca (GRK) yakni gas yang dimuat pada atmosfer, baik alami atau antropogenik, yang menyerap serta memancarkan radiasi inframerah kembali. Kontribusi yang Ditetapkan secara Nasional atau *Nationally Determined Contribution* yang berikutnya disingkat NDC yakni komitmen nasional bagi penanganan Perubahan Iklim global guna meraih tujuan Persetujuan Paris atas Konvensi Kerangka Kerja Perserikatan Bangsa-Bangsa terkait Perubahan Iklim (*Paris Agreement to the United Nations Framework Convention on Climate Change*).

Hasil Inventarisasi Emisi GRK oleh Menteri dan Menteri Terkait dijadikan dasar penyusunan *Baseline* Emisi GRK nasional seperti yang dimaksud pada Pasal 23 ayat (1) huruf a. Hasil penyusunan *Baseline* Emisi GRK nasional seperti yang dimaksud pada ayat (1) ditetapkan oleh Menteri serta dijadikan landasan bag:

- a. penetapan target Mitigasi Perubahan Iklim nasional;
- b. penghitungan besarnya pengurangan Emisi GRK dari Aksi Mitigasi Perubahan Iklim nasional;
- c. penghitungan pencapaian target Mitigasi Perubahan Iklim; dan
- d. rujukan dalam penyusunan dokumen perencanaan pembangunan nasional
- e. Sebelum COP-21, Indonesia menyampaikan Kontribusi Nasional (INDC) yang dimaksudkan kepada Biara Kerangka PBB terkait Perubahan Iklim (UNFCCC). Berdasarkan instruksi 1/cp. 21, partai yang dikirim oleh INDC ke Perjanjian Paris akan dikomunikasikan dengan NDC pertama kecuali para pihak memutuskan sesuatu yang lain. Indonesia telah menentukan guna memperkuat INDC melalui memperkuat kejelasan, transparansi beserta pemahaman tentang kepentingan domestik dan internasional, juga memberi dokumen NDC pada Sekretariat UNFCCC sebelum COP-22. Pemerintah Indonesia sudah mengumumkan Peraturan Presiden No. 98 untuk tahun 2021 sehubungan dengan implementasi harga karbon untuk tujuan pembangunan nasional emisi GRK pada pembangunan nasional. Peraturan ini berfungsi selaku kerangka

hukum guna implementasi NDC ke arah karbon rendah beserta resistensi iklim. Peraturan ini mengatur pula keputusan penetapan harga karbon, termasuk tindakan pencegahan perdagangan karbon, operasi karbon, beserta pembayaran pendapatan.

- f. Pemerintah Indonesia telah menetapkan Arahan Presiden Nomor 98 Tahun 2021 terkait Pelaksanaan Penaksiran Karbon untuk Pencapaian Sasaran Komitmen Terbatas dan Pengendalian Emisi Gas Rumah Kaca dalam Pembangunan Nasional. Arahan ini berfungsi sebagai mekanisme yang sah untuk melaksanakan NDC menuju ketahanan karbon dan iklim yang lebih baik. Arahan ini juga mendukung penaksiran karbon, rencana aksi perdagangan karbon, permintaan karbon, dan angsuran berbasis hasil. Dalam rangka mewujudkan sasaran NDC 2030 dan mempercepat perubahan transformasional menuju peningkatan ketahanan karbon dan iklim yang lebih baik, Indonesia telah membuat metodologi penggunaan NDC, yang terdiri dari sembilan program berikut: Building ownership and commitment among Ministries and other governmental Institutions, sub-national governments, private sectors, civil societies, and financial institutions (*Party and Non-Party Stakeholders*).
1. Pengembangan kapasitas untuk meningkatkan kapasitas pendidikan dan aset manusia di semua tingkatan, mencakup semua perspektif perubahan iklim, terutama pada kegiatan penanggulangan dan penyesuaian, pemanfaatan sistem transparansi, dan pendanaan iklim.
2. Menciptakan lingkungan yang memberdayakan untuk melibatkan lebih banyak mitra dalam penanggulangan dan penyesuaian serta penyiapan sumber daya, melalui sistem administrasi, pengaturan, dan langkah-langkah yang tepat.
3. Menciptakan sistem dan organisasi untuk koordinasi dan membangun energi kooperatif antar divisi, distrik, dan aktor/pemangku kepentingan.
4. Satu pengaturan data GRK untuk mendukung pelaksanaan sistem transparansi di tingkat nasional.
5. Menciptakan pengaturan, perencanaan, dan program mediasi untuk pemanfaatan NDC yang mencakup penanggulangan koordinasi di lima divisi kategori (layanan kehutanan, energi, IPPU, limbah, agribisnis) dan penyesuaian (sektoral dan lokal) ke dalam perencanaan pembangunan, untuk mengamankan

dukungan anggaran (keuangan terbuka) dan mendorong penyiapan sumber daya (sumber daya perumahan dan dasar universal).

6. Membuat arahan untuk pelaksanaan NDC guna mendorong Dinas dan lembaga legislatif lainnya, pemerintah daerah dan mitra nonpartai lainnya dalam mewujudkan Program No. 6.
7. Pelaksanaan NDC mengacu pada penggunaan pengaturan, pengaturan dan program intervensi (Program No.6), dengan mempertimbangkan arahan yang dibuat di bawah Program No. 7.
8. Memeriksa dan meninjau NDC untuk melacak kemajuan penggunaan NDC, mengaudit NDC dan mengubah NDC setiap saat diperlukan. Kelompok antar kementerian telah dibentuk untuk memantau kemajuan dan pencapaian penggunaan NDC

Menurut Lampiran 4 Dana Nasional yang Ditentukan (NDC) Indonesia, pemerintah Kota Tangerang bertanggung jawab atas pengelolaan Tempat Pemrosesan Akhir (TPA) Rawa Kucing. Ini mencakup banyak hal, seperti penggunaan teknologi ramah lingkungan dan pengelolaan sampah. Pemkot Tangerang berkomitmen untuk menerapkan pendekatan hulu-hilir dalam pengelolaan sampah. Langkah ini sejalan dengan amanat Peraturan Daerah tentang Pengelolaan Sampah, yang menekankan betapa pentingnya mengelola sampah dari tingkat rumah tangga hingga fasilitas pengolahan sampah terpadu. Di TPA Rawa Kucing, ada proyek untuk mengoperasikan mesin bahan bakar sampah yang dihasilkan (RDF). Mesin ini mempunyai kapabilitas guna mengubah sampah menjadi bahan bakar yang sebanding dengan batu bara dalam hal menghasilkan bahan bakar alternatif.

Untuk menggunakan bahan bakar alternatif, Pemkot Tangerang bekerja sama dengan PT Solusi Bangun Indonesia (SBI). Pengolahan sampah menjadi RDF di TPA Rawa Kucing adalah bagian dari kerja sama ini. TPA ini dapat mengolah 50 ton sampah setiap hari dan mengubahnya menjadi 25 hingga 30 ton RDF setiap hari. Untuk mendukung operasional RDF, Pemkot Tangerang membangun instalasi listrik permanen di sana. Diharapkan bahwa langkah ini akan membantu meningkatkan kapasitas produksi RDF sekaligus menjamin keberlanjutan pengelolaan sampah di masa depan. Dengan berbagai program ini, Kota Tangerang

menunjukkan komitmennya terhadap pengelolaan sampah yang berkelanjutan dan mendukung pencapaian target-target mitigasi perubahan iklim yang tercantum pada NDC Indonesia.

Tabel 4. 4 Target-Target Mitigasi perbahan Iklim (NDC Indonesia)

LAMPIRAN NDC					
analisis	Controlled landfill	Composting	methane capture	Satuan	Peran
ABIOTIC	-	-	-		- metode pemulihan dan pemanfaatan LFG Pengurangan 1,5 juta ton CO₂eq berasal dari pemanfaatan Gas TPA untuk >5.9-00 rumah tangga dan Gas TPA >45 MW. - metode pemanfaatsan sampah dengan cara pengomposan dan 3R Pengolahan limbah dengan pengomposan 3,7 juta ton MSW dan kertas 3R untuk menggunakan kembali/mendaur ulang kertas hingga 3,7 juta ton
ACIDIFICATION	-	13.24	-	KG.SO ₂	
FRESH WATER	-	3.44	-		
Global Warming	617,700.00	#####	86,090.00	KG.CO ₂	
HOMAN TOXICITY	-	31.77	-	KG	
photochemical oxidation	11.24	0.02	157.76	kg.C ₂ H ₄	

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

1. Berdasarkan perhitungan estimasi produksi gas metana menggunakan model LandGEM, proyeksi emisi gas metana di TPA Rawa Kucing menunjukkan tren peningkatan yang konsisten sejak tahun 1990. Puncak emisi diperkirakan terjadi pada tahun 2027, dengan besaran emisi mencapai sekitar 152,37 Gg/tahun. Setelah mencapai puncaknya, produksi gas metana diperkirakan akan mengalami penurunan secara bertahap hingga memasuki fase stabil menjelang akhir abad ke-21.
2. Data emisi gas metana berdasarkan metode IPCC dari tahun 1992 hingga 2030 juga menunjukkan tren peningkatan yang stabil. Emisi meningkat secara bertahap dari titik awal yang rendah pada tahun 1992 hingga mendekati 74 Gg/tahun pada tahun 2030. Meskipun peningkatannya tidak secepat hasil LandGEM, metode IPCC mencerminkan akumulasi emisi metana yang konsisten, tanpa menunjukkan penurunan seperti pada model LandGEM. Hal ini mengindikasikan bahwa metode IPCC lebih menekankan akumulasi total emisi, sementara LandGEM memberikan gambaran yang lebih dinamis terhadap produksi tahunan gas metana.
3. Peningkatan emisi gas metana ini dipengaruhi oleh berbagai faktor, seperti meningkatnya volume sampah dan efektivitas pengelolaan gas metana yang dapat bervariasi. Oleh karena itu, pemantauan dan mitigasi emisi gas metana sangat penting untuk mengurangi dampaknya terhadap perubahan iklim di masa mendatang.
4. Berdasarkan hasil analisis *Life Cycle Assessment* (LCA) terhadap upaya pengurangan gas metana di TPA Rawa Kucing, Kota Tangerang, dengan menggunakan tiga teknologi—yaitu sistem komposting, prinsip 3R (Reduce, Reuse, Recycle), dan teknologi penangkapan metana (methane capture) dapat disimpulkan bahwa masing-masing teknologi memberikan kontribusi berbeda terhadap pengurangan emisi dan dampak lingkungan. Teknologi *methane*

capture menunjukkan hasil paling signifikan dalam menurunkan emisi gas metana, yang berperan besar terhadap pemanasan global. Gas metana sendiri merupakan salah satu gas rumah kaca (GRK) yang sangat berbahaya, sehingga pengurangan emisinya memberikan manfaat besar bagi kelestarian lingkungan.

5.2 Saran

1. *Methane capture* merupakan salah satu teknologi yang paling efektif dalam pengurangan emisi gas metana berdasarkan hasil analisis *Life Cycle Assessment* (LCA). Oleh karena itu, disarankan agar pemerintah daerah dan pengelola TPA memperluas penerapan teknologi ini, terutama di TPA yang memiliki potensi emisi metana tinggi, seperti TPA Rawa Kucing. Investasi pada infrastruktur penangkapan dan pemanfaatan gas metana perlu menjadi prioritas dalam kebijakan mitigasi emisi gas rumah kaca di sektor pengelolaan limbah.
2. Peningkatan edukasi dan partisipasi masyarakat dalam upaya pengurangan sampah dari sumbernya juga sangat penting. Hal ini dapat dilakukan melalui penyuluhan yang berkelanjutan serta pemberian insentif bagi perilaku ramah lingkungan di tingkat rumah tangga.

DAFTAR PUSTAKA

- Alam, A., Chaudhry, M. N., Ahmad, S. R., Ullah, R., Batool, S. A., Butt, T. E., ... & Mahmood, A. (2022). *Application of LandGEM mathematical model for the estimation of gas emissions from contaminated sites. A case study of a dumping site in Lahore, Pakistan. Environment Protection Engineering*, 48(1).
- Angelidaki, I., Treu, L., Tsapekos, P., Luo, G., Campanaro, S., Wenzel, H., & Kougias, P. G. (2011). Anaerobic digestion: From biogas production to biorefinery. *Current Opinion in Biotechnology*, 18(3), 321–328. <https://doi.org/10.1016/j.copbio.2011.03.007>
- Appels, L., Lauwers, J., Degrève, J., Helsen, L., Lievens, B., Willems, K., Van Impe, J., & Dewil, R. (2008). Anaerobic digestion in global bio-energy production: Potential and research challenges. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 13(9), 2080–2088. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2009.01.002>
- Arlina Phelia, & Enri Damanhuri². (2019). Evaluation Of Landfill And Cost Benefit Analysis Waste Management System Landfill (Case Study Tpa Bakung City Bandar Lampung). *Jurnal Teknik Lingkungan*, 25(2).
- Artiningrum, T. (2017) *Potensi Emisi Metana (CH₄) dari Timbulan Sampah Kota Bandung Geoplanart*, 1(1), 36-44
- Axmalia, A., dan Mulasari, S. A. (2020). *The Impact of Landfills Toward Public Health*. 6(2), 171-176
- Change, C. (1995). *Intergovernmental panel on climate change (IPCC)*. CC BY, 4.
- Harfizar, Siti Alvina Maulidah, Muhamad Rivaldi, Rangga Rizky Pratama, Wafy Putra Pangestu. 2024. *Optimalisasi Pengelolaan Sampah di Tempat Pemrosesan Akhir (TPA) Rawa Kucing Kota Tangerang (dari Prespektif Komunikasi dan Sumber Daya Penanggulangan Sampah)*, Volume 8(5).

- Jara-Samaniego, J., et al. (2017). "The Influence of Composting Parameters on Emissions of Greenhouse Gases and Quality of Compost." *Waste Management*, 59, 19-26.
- Jehosua, J. P. B., Arungpadang, T. A., & Mende, J. (2021). Analisis Tata Letak Fasilitas Tempat Pembuangan Akhir (Tpa) Mobongo Dengan Sistem Controlled Landfill Di Minahasa Selatan. *Jurnal Tekno Mesin*, 7(1), 8-13.
- Lotulung, D. (2022). *Pengelolaan Sampah di Kota Tangerang: Studi Kasus TPA Rawa Kucing*. *Jurnal Lingkungan dan Pengelolaan Sampah*, 12(3), 45-52
- Margaret Wooldridge, Jenna Stolzman., 2024. *Meeting the moment: Reducing methane emissions and the need for better diagnostics*, *Proceedings of the Combustion Institute*, Volume 40, Issues 1–4,, 105637, ISSN 1540-7489, <https://doi.org/10.1016/j.proci.2024.1056>
- Mavridis, D. P., & Voudrias, E. A. (2021). Life cycle assessment of anaerobic digestion of food waste: Impact of biogas utilization paths. *Journal of Environmental Management*, 287, 112317. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.112317>
- Mirwandi, O. ., & Mulyono, D. . (2023). *PERAN DINAS LINGKUNGAN HIDUP KOTA TANGERANG DALAM PENANGANAN SAMPAH (STUDI UPT WILAYAH TIMUR)*. *Bussman Journal : Indonesian Journal of Business and Management*, 3(3), 1042–1056. <https://doi.org/10.53363/buss.v3i3.187>
- Muthmainnah, & Adris. (2020). Pengelolaan Sampah Di Tempat Pembuangan Akhir (Tpa) Patommo Sidrap (Tinjauan Yuridis Peraturan Daerah No. 7 Tahun 2016 Tentang Pengelolaan Persampahan). *Journal Madani*.
- Nurjaya, L. A. N. W., & Agung Rachmanto, T. (2023). *Potensi Produksi Gas Metana (CH₄) dari Kegiatan Landfilling di TPA Bengkala Kabupaten Buleleng dengan Kombinasi Permodelan LandGEM, IPCC, dan LCA*. *Envirotek : Jurnal Ilmiah Teknik Lingkungan*, 15(2), 114–123. <https://doi.org/10.33005/envirotek.v15i2.262>

Sean C. Coburn, Nicolas Harris, Elijah A. Miller, Stefan Droste, Kevin Knabe, Gregory B. Rieker, *Measuring methane destruction efficiency in gas flares with dual comb spectroscopy*, *Proceedings of the Combustion Institute*, Volume 40, Issues 1–4, 2024, 105533, ISSN 1540-7489, <https://doi.org/10.1016/j.proci.2024.105533>

Setiawan, A. (2023). *Pengembangan Teknologi dalam Pengelolaan Sampah di TPA Rawa Kucing, Kota Tangerang*. *Jurnal Teknologi Lingkungan*, 15(2), 67-74.

Sukma, P. (2022). *Pengelolaan Gas Metan pada Tempat Pemrosesan Akhir Sampah: Studi tentang Sistem Horizontal dan Vertikal*. *Jurnal Teknik Lingkungan*, 16(4), 231-238.

Thorneloe, S. A., et al. (2019). "Landfill Gas Utilization: Technologies, Environmental Benefits, and Regulatory Drivers." *Environmental Science & Technology*, 53(14), 8283-829

LAMPIRAN

Lampiran 2 Contoh perhitungan Proyeksi Penduduk Kota Tangerang

1.1. Proyeksi mundur

Pada contoh perhitungan proyeksi penduduk, dengan contoh kecamatan ciledug, berikut adalah data jumlah penduduk Kabupaen Ciledug dari tahun 2013-2023 yang ditampilkan pada Tabel sebagai berikut:

Tabel 1 1 Perhitungan Proyeksi Mundur

DATA PENDUDUK CILEDUG				
No	Tahun	Jumlah Penduduk	Pertambahan Penduduk	
			Selisih (jiwa)	Persen (%)
1	2013	115595	0	0%
2	2014	120393	4798	4%
3	2015	179824	59,431	33%
4	2016	186450	6,626	4%
5	2017	192391	5,941	3%
6	2018	198448	6,057	3%
7	2019	136525	-61,923	-45%
8	2020	164151	27,626	17%
9	2021	166308	2,157	1%
10	2022	168670	2,362	1%
11	2023	150190	-18,480	-12%
Jumlah		1778945	34595	9%
Rata-rata		161,722	3,145	0
Ka		3459.50		

Nilai Ka

$$Ka = \frac{P_{2022} - P_{2013}}{2022 - 2013}$$

$$Ka = \frac{150190 - 1115595}{2023 - 2013}$$

$$Ka = 3459.50 \text{ Jiwa/tahun}$$

$$Ka = 3459 \text{ Jiwa/tahun}$$

Dengan bertolak dari data penduduk tahun 2022, menghitung kembali jumlah penduduk per tahun dari 2013 sampai 2022, dengan menggunakan metode aritmatik, geometrik dan Least square.

a. Metode Aritmatik

Rumus Metode Aritmatika

- $P_n = P_o + K_a (T_n - T_o)$
 $P_n = 150190 + 3459 (2023 - 2013)$

$$P_n = 150190$$

- Rumus Standar Deviasi :

$$SD = \frac{\sqrt{Y_i - Y_{mean}^2}}{n}$$

$$SD = \frac{\sqrt{10326215864}}{10}$$

$$SD = 9688.895$$

Berikut adalah data standar deviasi dengan metode aritmatika yang ditampilkan pada **Tabel** sebagai berikut :

Tabel 1 2 Perhitungan Artimatika

ARITMATIK							
Tahun	Tahun Ke-n (X)	Jumlah Penduduk	Pertumbuhan Penduduk		Hasil Perhitungan Aritmatik (Yi)	(Yi-Ymean)	(Yi-Ymean) ²
			Jiwa	Ratio			
2013	1	115,595	0	0%	115595	-46127	2127725289
2014	2	120,393	4798	4%	119055	-42668	1820538830
2015	3	179,824	59431	33%	122514	-39208	1537288650
2016	4	186,450	6626	4%	125974	-35749	1277974752
2017	5	192,391	5941	3%	129433	-32289	1042597133
2018	6	198,448	6057	3%	132893	-28830	831155796
2019	7	136,525	-61923	-45%	136352	-25370	643650738
2020	8	164,151	27626	17%	139812	-21911	480081962
2021	9	166,308	2157	1%	143271	-18451	340449465
2022	10	168,670	2362	1%	146731	-14992	224753250
2023	11	150,190	-18480	-12%	150190	-11532	132993314
Jumlah		1,778,945	34595	8.59%	1461818	-317128	10326215864
Rerata		161722	5308	2.09%	132893	-28830	1032621586

STANDAR DEVISIASI	9688.895173
-------------------	-------------

b. Metode Geometri

Rumus Metode Geometri

- $P_n = P_o (1+r)^n$

$$r = 0,11 \%$$

$$P_n = 150190 (1+0,11\%)^{10}$$

$$P_n = 150190$$

- Rumus Standar Deviasi

$$SD = \frac{\sqrt{Y_i - Y_{mean}^2}}{n}$$

$$SD = \frac{\sqrt{3268300553}}{10}$$

$$SD = 5192,314$$

Berikut adalah data standar deviasi dengan metode geometri yang ditampilkan pada Tabel dibawah sebagai berikut :

Tabel 2 3 Tabel Geomatrik

GEOMETRIK							
Tahun	Tahun Ke-n (X)	Jumlah Penduduk	Pertumbuhan Penduduk		Hasil Perhitung Geomatrik (Yi)	(Yi- Ymean)	(Yi- Ymean) ²
			Jiwa	Ratio			
2013	1	115,595	0	0%	138944	22778	518853878
2014	2	120,393	4798	4%	140030	21693	470574656
2015	3	179,824	59431	33%	141124	20599	424303097
2016	4	186,450	6626	4%	142226	19496	380092301
2017	5	192,391	5941	3%	143338	18385	337996371
2018	6	198,448	6057	3%	144458	17265	298070429
2019	7	136,525	61923	-45%	145586	16136	260370632
2020	8	164,151	27626	17%	146724	14998	224954192
2021	9	166,308	2157	1%	147870	13852	191879392
2022	10	168,670	2362	1%	149026	12697	161205606
2023	11	150,190	18480	-12%	150190	11532	132993314
Jumlah		1778945	34595	0.085947964	1589514	189431	3268300553
Rerata		161722	3145	0	144501	17221	296561421
STANDAR DEVISIASI							5192.314431

1.2. Perbandingan Proyeksi

Setelah melakukan perhitungan proyeksi dari ketiga metode tersebut nilai standar deviasi dari setiap metode dibandingkan. Metode yang dipilih adalah metode yang menunjukkan nilai standar deviasi terkecil dan dipilih metode Metode Geometrik

Berikut adalah data perbandingan tiap metode proyeksi yang ditampilkan pada tabel dibawah ini sebagai berikut :

Tabel 2 4 Perbandingan Proyeksi

Tahun	Jumlah Penduduk	Proyeksi Mundur	
		Aritmatika	Geometrik
2013	115595	115595	138944
2014	120393	119055	140030
2015	179824	122514	141124
2016	186450	125974	142226
2017	192391	129433	143338
2018	198448	132893	144458
2019	136525	136352	145586
2020	164151	139812	146724
2021	166308	143271	147870
2022	168670	146731	149026
2023	150190	150190	150190
Standar Deviasi		9688.89517	5192.314

1.3. Proyeksi Penduduk Maju

Perhitungan proyeksi penduduk maju untuk tahun perencanaan pengelolaan sampah yakni 20 tahun kedepan terhitung dari tahun 2022, Jadi tahun perencanaan pengelolaan sampah adalah tahun 2042, Berikut ini adalah perhitungan proyeksi maju menggunakan Metode Geometri :

Contoh perhitungan untuk tahun 2022 :

$$P_n = P_o (1+r)$$

$$P_n = 150190 (1+0,11\%)^{10}$$

$$P_n = 150190$$

Berikut adalah data proyeksi jumlah penduduk 30 tahun kedepan yang ditampilkan pada **Tabel 2.5** sebagai berikut :

Tabel 2 5 Perhitungan Proyeksi Maju

Tahun	Jumlah Penduduk (Jiwa) Per Kecamatan													Total
	Ciledug	Larangan	Karang Tengah	Cipondoh	Pinang	Tangerang	Karawaci	Jatiuwung	Cibodas	Periuk	Batuceper	Neglasari	Benda	
2013	115595	131585	100639	171582	143335	143781	158899	87277	136021	116724	82596	98800	67636	1554470
2014	120393	135721	103871	182098	164235	150109	165605	91825	145651	122449	85003	104529	70775	1642264
2015	179824	189955	134589	274201	192061	172665	178989	121493	151815	142911	99107	113719	95776	2047105
2016	186450	194870	137510	290783	198354	176397	179891	117043	153163	145206	100489	115412	98138	2093706
2017	192391	198950	139810	302972	203868	179335	179914	124006	153768	146820	101386	116552	100059	2139831
2018	198448	203644	142512	316516	210086	182794	180396	124492	154765	148829	102539	118000	102283	2185304
2019	136525	143934	108405	203881	168477	153793	184216	104419	149192	134741	90053	115162	78294	1771092
2020	164151	165599	117721	248212	180131	153859	184388	102053	147279	141003	92044	115520	83526	1895486
2021	166308	166161	118003	252136	182622	154394	186149	102297	148106	142522	92407	117034	83775	1911914
2022	168670	166900	118409	256392	185342	155094	188124	102650	149093	144208	92868	118692	84114	1930556
2023	150190	151860	117440	231127	186671	165575	193480	107510	158036	144640	95474	124907	85769	1912679
2024	125927.5	132843.2	132843.2	125521	177116.1	142838.3	139885.4	125927.5	133419.6	140302.2	130718	125928	125928	1759197

Lampiran 2 Analisis perhitungan Timbulan Sampah

a. Contoh Perhitungan

1. Timbulan sampah per Jiwa

$$\begin{aligned}\text{Timbulan sampah perjiwa} &= \frac{\text{timbulan sampah total}}{\text{jumlah penduduk}} \\ &= \frac{1300997}{1895486} \\ &= 0.686 \text{ kg/hari}\end{aligned}$$

2. Timbulan Sampah (massa)

$$\begin{aligned}\text{Timbulan sampah} &= \text{jumlah penduduk} \times \text{timbulan sampah / jiwa} \\ &= 1212781 \times 0.7333 \\ &= 324617,93\end{aligned}$$

3. Timbulan Sampah (Volume)

$$\begin{aligned}\text{Volume Sampah} &= \left(\frac{\text{jumlah penduduk}}{\text{jumlah jiwa dalam kk}} \right) \times \text{volume sampah} \\ &= \left(\frac{1212781}{4} \right) \times 2,5 \text{ liter/hari} \\ &= 757988 \text{ l/hari} \\ &= 324,617 \text{ m}^3/\text{tahun}\end{aligned}$$

b. Data Timbulan Sampah

Pada data timbulan sampah, mendapatkan data timbulan sampah, data timbulan sampah mendapatkan dari Data TPA Rawa Kucing

Tabel 2 6 Data Timbulan Sampah

No	Tahun	Jumlah Penduduk	Timbulan Sampah		Rata-Rata Pertambahan Timbulan	Volume Sampah	Rata-Rata Pertambahan Volume (L/Hari)	Timbulan Sampah Perjiwa
			Kg/Tahun	Kg/Hari		L/Hari		Kg/Hari
1	2020	1,895,486	474864040	1300997.37	0	1,184,679	0	0.686366119
2	2021	1,911,914	514571720	1409785.534	108788.1644	4,779,785	3595106.25	0.737368697
3	2022	1,930,556	528977330	1449252.959	39467.42466	4,826,390	46605	0.750692007
4	2023	1,912,679	529791260	1451482.904	2229.945205	4,781,698	-44692.5	0.758874283
Total		7,650,635	2048204350	5611518.767	150485.5342	15572551.25	3597018.75	2.933301106
Rata-Rata		1,912,659	512,051,088	1,402,880	37,621	3,893,138	899,255	0.733325

c. Data Timbunan Sampah

Tabel 2.7 menampilkan data timbunan sampah di Tempat Pemrosesan Akhir (TPA) Rawa Kucing, Kota Tangerang Selatan, selama periode tahun 1992 hingga 2032. Data ini meliputi jumlah penduduk, timbunan sampah harian (dalam satuan kilogram per hari dan ton per hari), serta volume sampah dalam satuan liter per hari. Secara keseluruhan, jumlah penduduk menunjukkan tren peningkatan dari 1.214.250 jiwa pada tahun 1992 menjadi 1.971.360 jiwa pada tahun 2032. Kenaikan jumlah penduduk ini berdampak langsung terhadap peningkatan jumlah timbunan sampah. Timbunan sampah harian tercatat sebesar 106.247 kg/hari (atau sekitar 106 ton/hari) pada tahun 1992, dan meningkat secara signifikan hingga mencapai 172.494 kg/hari (172 ton/hari) pada tahun 2032. Volume sampah harian pun mengalami pertumbuhan dari 910.687 liter per hari pada tahun 1992 menjadi lebih dari 1.232.100 liter per hari pada tahun 2032. Peningkatan ini menunjukkan adanya hubungan linier antara pertumbuhan penduduk dengan jumlah timbunan sampah yang dihasilkan setiap harinya. Lonjakan yang paling mencolok terjadi pada periode 2014–2015, ketika jumlah penduduk meningkat dari 1.642.264 menjadi 2.047.105 jiwa, dengan timbunan sampah yang melonjak dari 143.698 kg/hari menjadi 179.122 kg/hari (sekitar 179 ton/hari). Hal ini kemungkinan besar disebabkan oleh peningkatan aktivitas ekonomi dan konsumsi masyarakat seiring pertumbuhan wilayah perkotaan.

Data ini sangat penting sebagai dasar perencanaan sistem pengelolaan sampah, termasuk dalam evaluasi kapasitas fasilitas pengolahan, penerapan prinsip 3R (reduce, reuse, recycle), sistem komposting, hingga perencanaan teknologi penangkapan gas metana (methane capture) dari timbunan sampah organik. Dengan adanya data historis dan proyeksi ini, pengelolaan sampah di TPA Rawa Kucing dapat diarahkan menjadi lebih terencana, adaptif, dan berkelanjutan, guna mengurangi dampak lingkungan jangka panjang serta meningkatkan efisiensi operasional pengelolaan sampah di tingkat kota.

Tabel 2 7 Perhitungan Timbulan Sampah

NO	Tahun	Jumlah Penduduk	Timbulan Sampah	Volume Sampah				
		Orang	Kg/Hari	L/Hari	Ton / hari	Ton / tahun	m3/tahun	mega gram/tahun
1	1992	1212781	889363	757988	889	324617	324.617	324.617
2	1993	1226812	899653	766758	900	328373	328.373	328.373
3	1994	1241046	910090	775654	910	332183	332.183	332.183
4	1995	1255485	920679	784678	921	336048	336.048	336.048
5	1996	1270132	931420	793833	931	339968	339.968	339.968
6	1997	1284991	942316	803119	942	343946	343.946	343.946
7	1998	1300065	953371	812541	953	347980	347.980	347.980
8	1999	1315358	964585	822099	965	352074	352.074	352.074
9	2000	1330872	975962	831795	976	356226	356.226	356.226
10	2001	1346613	987505	841633	988	360439	360.439	360.439
11	2002	1362582	999216	851614	999	364714	364.714	364.714
12	2003	1378785	1011098	861740	1011	369051	369.051	369.051
13	2004	1395223	1023153	872015	1023	373451	373.451	373.451
14	2005	1411903	1035384	882439	1035	377915	377.915	377.915
15	2006	1428826	1047795	893016	1048	382445	382.445	382.445
16	2007	1445998	1060387	903749	1060	387041	387.041	387.041
17	2008	1463422	1073164	914639	1073	391705	391.705	391.705
18	2009	1481102	1086130	925689	1086	396437	396.437	396.437

19	2010	1499043	1099286	936902	1099	401239	401.239	401.239
20	2011	1517248	1112637	948280	1113	406112	406.112	406.112
21	2012	1535723	1126184	959827	1126	411057	411.057	411.057
22	2013	1554470	1139932	971544	1140	416075	416.075	416.075
23	2014	1642264	1204314	1026415	1204	439575	439.575	439.575
24	2015	2047105	1501194	1279441	1501	547936	547.936	547.936
25	2016	2093706	1535368	1308566	1535	560409	560.409	560.409
26	2017	2139831	1569192	1337394	1569	572755	572.755	572.755
27	2018	2185304	1602539	1365815	1603	584927	584.927	584.927
28	2019	1771092	1298787	1106933	1299	474057	474.057	474.057
29	2020	1895486	1390008	1184679	1390	507353	507.353	507.353
30	2021	1911914	1402055	1194946	1402	511750	511.750	511.750
31	2022	1930556	1415726	1206598	1416	516740	516.740	516.740
32	2023	1912679	1402616	1195424	1403	511955	511.955	511.955
33	2024	1782222	1306949	1113889	1307	477036	477.036	477.036
34	2025	1804644	1323391	1127902	1323	483038	483.038	483.038
35	2026	1827403	1340081	1142127	1340	489129	489.129	489.129
36	2027	1850505	1357022	1156565	1357	495313	495.313	495.313
37	2028	1873955	1374219	1171222	1374	501590	501.590	501.590
38	2029	1897760	1391675	1186100	1392	507962	507.962	507.962
39	2030	1921925	1409396	1201203	1409	514430	514.430	514.430
40	2031	1946456	1427386	1216535	1427	520996	520.996	520.996

Lampiran 3 Analisis Perhitungan Komposisi Sampah

Perhitungan komposisi sampah untuk tahun perencanaan pengelolaan sampah yakni 30 tahun kedepan terhitung dari tahun 1992, Jadi tahun perencanaan pengelolaan sampah adalah tahun 2031 Berikut ini adalah perhitungan proyeksi komposisi sampah :

Contoh perhitungan untuk tahun 1992

Komposisi sampah : Timbulan sampah tahun 1992 x % kategori komposisi sampah

Komposisi sampah : $1212781 \times 57.65\%$

Komposisi sampah : 69918

Berikut adalah data proyeksi komposisi sampah 30 tahun kedepan yang ditampilkan pada **Tabel 3.1** sebagai berikut :

Tabel 3 1 Perhitungan Komposisi Sampah

Tahun	Jumlah Timbulan (l/hari)	Sisa Makanan	Kayu-Ranting	Kertas-Karton	Plastik	Logam	Kain	Karet-Kulit	Kaca	Lainnya
		Persentase Berat								
		57.65%	0.44%	13.18%	19.66%	1.07%	2.32%	0.80%	0.37%	4.51%
1992	1212781	699168	5336	159844	238433	12977	28137	9702	4487	54696
1993	899653	518650	3958	118574	176872	9626	20872	7197	3329	40574
1994	910090	524667	4004	119950	178924	9738	21114	7281	3367	41045
1995	920679	530771	4051	121345	181005	9851	21360	7365	3407	41523
1996	931420	536964	4098	122761	183117	9966	21609	7451	3446	42007
1997	942316	543245	4146	124197	185259	10083	21862	7539	3487	42498
1998	953371	549618	4195	125654	187433	10201	22118	7627	3527	42997
1999	964585	556083	4244	127132	189637	10321	22378	7717	3569	43503
2000	975962	562642	4294	128632	191874	10443	22642	7808	3611	44016
2001	987505	569297	4345	130153	194144	10566	22910	7900	3654	44536
2002	999216	576048	4397	131697	196446	10692	23182	7994	3697	45065
2003	1011098	582898	4449	133263	198782	10819	23457	8089	3741	45600
2004	1023153	589847	4502	134852	201152	10948	23737	8185	3786	46144
2005	1035384	596899	4556	136464	203556	11079	24021	8283	3831	46696
2006	1047795	604054	4610	138099	205996	11211	24309	8382	3877	47256
2007	1060387	611313	4666	139759	208472	11346	24601	8483	3923	47823
2008	1073164	618679	4722	141443	210984	11483	24897	8585	3971	48400

Tahun	Jumlah Timbulan (l/hari)	Sisa Makanan	Kayu-Ranting	Kertas-Karton	Plastik	Logam	Kain	Karet-Kulit	Kaca	Lainnya
		Persentase Berat								
		57.65%	0.44%	13.18%	19.66%	1.07%	2.32%	0.80%	0.37%	4.51%
2009	1086130	626154	4779	143152	213533	11622	25198	8689	4019	48984
2010	1099286	633739	4837	144886	216120	11762	25503	8794	4067	49578
2011	1112637	641435	4896	146646	218744	11905	25813	8901	4117	50180
2012	1126184	649245	4955	148431	221408	12050	26127	9009	4167	50791
2013	1139932	657171	5016	150243	224111	12197	26446	9119	4218	51411
2014	1204314	694287	5299	158729	236768	12886	27940	9635	4456	54315
2015	1501194	865438	6605	197857	295135	16063	34828	12010	5554	67704
2016	1535368	885139	6756	202361	301853	16428	35621	12283	5681	69245
2017	1569192	904639	6904	206820	308503	16790	36405	12554	5806	70771
2018	1602539	923864	7051	211215	315059	17147	37179	12820	5929	72274
2019	1298787	748750	5715	171180	255341	13897	30132	10390	4806	58575
2020	1390008	801339	6116	183203	273276	14873	32248	11120	5143	62689
2021	1402055	808285	6169	184791	275644	15002	32528	11216	5188	63233
2022	1415726	816166	6229	186593	278332	15148	32845	11326	5238	63849
2023	1402616	808608	6172	184865	275754	15008	32541	11221	5190	63258
2024	1306949	753456	5751	172256	256946	13984	30321	10456	4836	58943
2025	1323391	762935	5823	174423	260179	14160	30703	10587	4897	59685
2026	1340081	772556	5896	176623	263460	14339	31090	10721	4958	60438
2027	1357022	782323	5971	178855	266790	14520	31483	10856	5021	61202
2028	1374219	792237	6047	181122	270171	14704	31882	10994	5085	61977
2029	1391675	802301	6123	183423	273603	14891	32287	11133	5149	62765
2030	1409396	812517	6201	185758	277087	15081	32698	11275	5215	63564
2031	1427386	822888	6280	188129	280624	15273	33115	11419	5281	64375

Perhitungan komposisi sampah untuk tahun perencanaan pengelolaan sampah yakni 30 tahun kedepan terhitung dari tahun 1992, Jadi tahun perencanaan pengelolaan sampah adalah tahun 2031 Berikut ini adalah perhitungan proyeksi komposisi sampah :

Contoh perhitungan untuk tahun 1992

Komposisi sampah : Volume Sampah / 739,329

Komposisi sampah : 146074226 / 739,329

Berikut adalah data komposisi jenis yang ditampilkan pada **Tabel 5.7** sebagai berikut

No	Komposisi Sampah	%	Berat Jenis (kg/m ³)
1	Sisa Makanan	57.65%	120.3
2	Kayu/ranting	0.44%	40.88
3	Kertas/Karton	13.18%	89.71
4	Plastik	19.66%	65.68
5	Logam	1.07%	160.19
6	Kaca	0.37%	195.43
7	Kain	2.32%	65.68
8	Karet/Kulit	0.80%	129.75
9	Lainnya	4.51%	200
Total		1	

Berikut adalah data proyeksi komposisi sampah 30 tahun kedepan yang ditampilkan pada **Tabel** sebagai berikut:

Tabel 3 2 Proyeksi Maju Komposisi Sampah

Tahun	Volume (m ³ /hari)								
	Sisa Makanan	Kayu-Ranting	Kertas-Karton	Plastik	Logam	Kain	Karet-Kulit	Kaca	Lainnya
1992	145897514	49578474	108798553	79655434	79655434	194275335	237013725	79655434	157358291
1993	108228201	36777796	80707829	59089179	59089179	144115341	175819096	59089179	116729917
1994	109483882	37204498	81644215	59774741	59774741	145787390	177858978	59774741	118084237
1995	110757661	37637350	82594096	60470184	60470184	147483539	179928260	60470184	119458076
1996	112049826	38076450	83557688	61175666	61175666	149204170	182027411	61175666	120851745
1997	113360670	38521897	84535210	61891345	61891345	150949674	184156906	61891345	122265561
1998	114690492	38973793	85526883	62617386	62617386	152720448	186317230	62617386	123699844
1999	116039592	39432241	86532933	63353952	63353952	154516894	188508874	63353952	125154922
2000	117408281	39897344	87553590	64101213	64101213	156339423	190732339	64101213	126631126
2001	118796871	40369211	88589088	64859339	64859339	158188452	192988134	64859339	128128795
2002	120205680	40847949	89639664	65628504	65628504	160064405	195276775	65628504	129648271
2003	121635033	41333667	90705560	66408886	66408886	161967714	197598791	66408886	131189905
2004	123085260	41826479	91787021	67200664	67200664	163898818	199954716	67200664	132754052
2005	124556694	42326498	92884298	68004021	68004021	165858162	202345094	68004021	134341073

2006	126049679	42833839	93997645	68819143	68819143	167846201	204770480	68819143	135951337	
2007	127564559	43348622	95127320	69646220	69646220	169863397	207231436	69646220	137585216	
2008	129101688	43870964	96273586	70485444	70485444	171910220	209728536	70485444	139243093	

Tahun	Volume (m ³ /hari)								
	Sisa Makanan	Kayu-Ranting	Kertas-Karton	Plastik	Logam	Kain	Karet-Kulit	Kaca	Lainnya
2009	130661425	44400990	97436712	71337011	71337011	173987146	212262363	71337011	140925352
2010	132244134	44938821	98616968	72201120	72201120	176094661	214833508	72201120	142632388
2011	133850186	45484585	99814631	73077973	73077973	178233261	217442575	73077973	144364602
2012	135479959	46038410	101029984	73967778	73967778	180403446	220090178	73967778	146122400
2013	137133837	46600426	102263313	74870743	74870743	182605730	222776939	74870743	147906195
2014	144878938	49232344	108038982	79099324	79099324	192919012	235359027	79099324	156259703
2015	180593619	61368804	134672099	98598411	98598411	240476241	293378312	98598411	194779901
2016	184704714	62765825	137737821	100842939	100842939	245950525	300056877	100842939	199213937
2017	188773817	64148575	140772229	103064541	103064541	251368892	306667224	103064541	203602683
2018	192785401	65511780	143763743	105254739	105254739	256710668	313184130	105254739	207929391
2019	156244020	53094393	116514140	85304299	85304299	208052614	253821852	85304299	168517552

2020	167217938	56823519	124697599	91295712	91295712	222665349	271649223	91295712	180353511
2021	168667200	57316003	125778342	92086963	92086963	224595168	274003582	92086963	181916618
2022	170311779	57874859	127004736	92984852	92984852	226785070	276675237	92984852	183690385

Tahun	Volume (m³/hari)								
	Sisa Makanan	Kayu-Ranting	Kertas-Karton	Plastik	Logam	Kain	Karet-Kulit	Kaca	Lainnya
2023	168734688	57338936	125828668	92123809	92123809	224685034	274113217	92123809	181989407
2024	157225935	53428065	117246372	85840394	85840394	209360120	255416994	85840394	169576600
2025	159203930	54100222	118721401	86920317	86920317	211993995	258630292	86920317	171709975
2026	161211698	54782495	120218632	88016495	88016495	214667513	261891954	88016495	173875460
2027	163249725	55475052	121738428	89129193	89129193	217381326	265202775	89129193	176073581
2028	165318509	56178060	123281159	90258684	90258684	220136093	268563560	90258684	178304876
2029	167418555	56891692	124847203	91405243	91405243	222932488	271975130	91405243	180569888
2030	169550376	57616121	126436943	92569150	92569150	225771195	275438321	92569150	182869171
2031	171714496	58351526	128050768	93750691	93750691	228652910	278953981	93750691	185203291

Tabel 3.3 Proyeksi Maju Komposisi Sampah

Tahun	Volume (kg/hari)								
	Sisa Makanan	Kayu-Ranting	Kertas-Karton	Plastik	Logam	Kain	Karet-Kulit	Kaca	Lainnya
1992	197337.7249	67058.73811	147158.4979	107740.1644	107740.1644	262772.4867	320579.4811	107740.1644	212839.3168
1993	146387.0516	49744.82684	109163.611	79922.70614	79922.70614	194927.197	237808.99	79922.70614	157886.2838
1994	148085.4577	50321.97431	110430.1447	80849.98221	80849.98221	197188.7736	240568.0881	80849.98221	159718.1058
1995	149808.343	50907.44023	111714.9331	81790.62315	81790.62315	199482.9464	243366.9531	81790.62315	161576.33
1996	151556.0969	51501.35696	113018.2665	82744.84161	82744.84161	201810.2341	246206.218	82744.84161	163461.3764
1997	153329.1157	52103.8591	114340.4403	83712.85386	83712.85386	204171.1641	249086.526	83712.85386	165373.6722
1998	155127.8021	52715.08356	115681.755	84694.87984	84694.87984	206566.2729	252008.5318	84694.87984	167313.6519
1999	156952.5659	53335.16953	117042.5161	85691.14322	85691.14322	208996.1059	254972.9007	85691.14322	169281.7575
2000	158803.8237	53964.25862	118423.0343	86701.87149	86701.87149	211461.2179	257980.3098	86701.87149	171278.4383
2001	160681.9992	54602.49481	119823.6255	87727.29597	87727.29597	213962.1733	261031.4472	87727.29597	173304.1512
2002	162587.5233	55250.02455	121244.6111	88767.65197	88767.65197	216499.5458	264127.0132	88767.65197	175359.3612
2003	164520.8345	55906.99678	122686.318	89823.17878	89823.17878	219073.9191	267267.7197	89823.17878	177444.5409
2004	166482.3783	56573.56297	124149.0786	90894.11976	90894.11976	221685.8868	270454.2909	90894.11976	179560.1711
2005	168472.6082	57249.87718	125633.231	91980.72244	91980.72244	224336.0525	273687.4633	91980.72244	181706.7408
2006	170491.9854	57936.09612	127139.119	93083.23858	93083.23858	227025.0303	276967.9859	93083.23858	183884.7473
2007	172540.9787	58632.37914	128667.0923	94201.92422	94201.92422	229753.4446	280296.6207	94201.92422	186094.6965
2008	174620.0653	59338.88835	130217.5067	95337.0398	95337.0398	232521.9307	283674.1426	95337.0398	188337.1028

2009	176729.7302	60055.78861	131790.724	96488.85019	96488.85019	235331.1345	287101.3397	96488.85019	190612.4895
2010	178870.4669	60783.24761	133387.1121	97657.62482	97657.62482	238181.7132	290579.0137	97657.62482	192921.3889

Tahun	Volume (kg/hari)								
	Sisa Makanan	Kayu-Ranting	Kertas-Karton	Plastik	Logam	Kain	Karet-Kulit	Kaca	Lainnya
2011	181042.7774	61521.43591	135007.0454	98843.63773	98843.64	241074.3	294108	98843.64	195264.3
2012	183247.1721	62270.52699	136650.9045	100047.1676	100047.2	244009.7	297689.1	100047.2	197641.9
2013	185484.1705	63030.69733	138319.0767	101268.4981	101268.5	246988.4	301323.1	101268.5	200054.6
2014	195960.0222	66590.57114	146131.1188	106987.9822	106988	260938	318341.4	106988	211353.4
2015	244266.903	83006.07645	182154.4794	133362.0132	133362	325262.8	396817	133362	263455
2016	249827.4786	84895.65523	186301.1064	136397.9118	136397.9	332667.2	405850.2	136397.9	269452.3
2017	255331.2563	86765.93314	190405.3782	139402.8006	139402.8	339996	414791.3	139402.8	275388.4
2018	260757.2354	88609.77375	194451.6341	142365.2138	142365.2	347221.1	423605.9	142365.2	281240.7
2019	211332.1778	71814.29284	157594.4279	115380.6936	115380.7	281407.3	343313.8	115380.7	227933.1
2020	226175.2548	76858.22458	168663.1929	123484.5448	123484.5	301172.2	367426.7	123484.5	243942.1
2021	228135.4946	77524.34762	170124.9811	124554.7738	124554.8	303782.4	370611.1	124554.8	246056.4
2022	230359.9157	78280.24401	171783.7742	125769.2374	125769.2	306744.4	374224.8	125769.2	248455.5
2023	228226.7768	77555.36687	170193.0519	124604.611	124604.6	303904	370759.4	124604.6	246154.8
2024	212660.2942	72265.60954	158584.8295	116105.8032	116105.8	283175.8	345471.3	116105.8	229365.5
2025	215335.687	73174.75384	160579.9209	117566.4832	117566.5	286738.4	349817.6	117566.5	232251.1

2026	218051.3486	74097.58213	162605.0414	119049.1486	119049.1	290354.5	354229.2	119049.1	235180.1
2027	220807.9391	75034.31877	164660.6834	120554.1599	120554.2	294025.1	358707.4	120554.2	238153.2
2028	223606.1301	75985.19201	166747.3477	122081.8838	122081.9	297751.2	363253.1	122081.9	241171.2
2029	226446.6051	76950.43404	168865.544	123632.6934	123632.7	301533.5	367867.5	123632.7	244234.8
2030	229330.059	77930.28108	171015.7905	125206.9682	125207	305373.1	372551.7	125207	247344.8
2031	232257.1993	78924.97346	173198.6147	126805.0943	126805.1	309270.8	377306.9	126805.1	250501.8

Lampiran 4 Analisis Perhitungan gas Metana

d. LandGEM

Lampiran ini menyajikan data estimasi emisi gas rumah kaca dari TPA Rawa Kucing, Kota Tangerang Selatan, selama periode tahun 1992 hingga 2031. Emisi dihitung untuk tiga parameter utama, yaitu gas metana (CH_4), karbon dioksida (CO_2), dan *Non-Methane Organic Compounds* (NMOC) dalam satuan gigagram (Gg), berdasarkan hasil pemodelan. Pada awal tahun 1992, emisi dari seluruh parameter tercatat nol, seiring dengan fase awal pengoperasian TPA. Seiring waktu, emisi menunjukkan tren peningkatan signifikan yang bersifat eksponensial. Gas metana (CH_4), sebagai kontributor utama pemanasan global dari aktivitas landfill, meningkat dari 1,58 Gg pada tahun 1993 menjadi 44,95 Gg pada tahun 2031. Peningkatan ini sebanding dengan akumulasi timbunan sampah organik dan proses dekomposisi anaerobik yang terjadi di dalam tubuh landfill. Sementara itu, emisi karbon dioksida (CO_2) juga mengalami peningkatan dari 278,90 Gg pada tahun 1993 menjadi 7.913,88 Gg pada tahun 2031. Emisi CO_2 umumnya berasal dari proses dekomposisi bahan organik dan aktivitas biologis lainnya di dalam landfill.

Selain itu, NMOC, yang merupakan senyawa organik selain metana yang berpotensi berbahaya, juga menunjukkan pertumbuhan emisi yang cukup signifikan. Dari hanya 0,65 Gg pada tahun 1993, menjadi 18,60 Gg pada tahun 2031. NMOC berkontribusi terhadap pembentukan ozon troposferik dan pencemaran udara lokal. Peningkatan ketiga parameter ini menegaskan pentingnya penerapan strategi pengelolaan sampah berkelanjutan, termasuk pengurangan sampah organik, sistem komposting, serta teknologi penangkapan dan pemusnahan gas metana (methane capture dan flaring). Data ini juga menjadi dasar penting dalam penyusunan inventarisasi emisi dan evaluasi skenario mitigasi dalam pendekatan Life Cycle Assessment (LCA)

Tabel 4 1 Hasil Perhitungan LandGEM

Tahun	Parameter (Gg)		
	methane	carbon dioxide	NMOC
1992	0	0	0
1993	1.584157	278.9008	0.655369
1994	3.104006	546.48	1.284135
1995	4.582837	806.8376	1.895931
1996	6.022526	1060.304	2.491534
1997	7.42488	1307.197	3.071691
1998	8.791639	1547.824	3.637122
1999	10.12448	1782.479	4.188522
2000	11.42502	2011.447	4.726558
2001	12.69481	2235.002	5.251874
2002	13.93536	2453.408	5.765091
2003	15.1481	2666.92	6.266807
2004	16.33444	2875.783	6.757599
2005	17.49572	3080.233	7.238024
2006	18.63324	3280.5	7.708616
2007	19.74824	3476.803	8.169895
2008	20.84194	3669.355	8.622359
2009	21.91549	3858.361	9.066491
2010	22.97002	4044.019	9.502754
2011	24.00663	4226.519	9.9316
2012	25.02635	4406.047	10.35346
2013	26.0302	4582.782	10.76876
2014	27.03756	4760.134	11.1855
2015	28.11996	4950.698	11.6333
2016	29.68809	5226.778	12.28204
2017	31.25553	5502.736	12.93049
2018	32.82169	5778.468	13.57841
2019	34.38577	6053.833	14.22548
2020	35.34811	6223.26	14.6236
2021	36.43502	6414.617	15.07326
2022	37.50074	6602.243	15.51415
2023	38.54899	6786.794	15.94781
2024	39.53281	6960.003	16.35482
2025	40.30787	7096.456	16.67546
2026	41.08178	7232.708	16.99563
2027	41.85504	7368.845	17.31553
2028	42.62812	7504.951	17.63536
2029	43.40148	7641.106	17.9553

Tahun	Parameter (Gg)		
	methane	carbon dioxide	NMOC
2030	44.17557	7777.39	18.27554
2031	44.95084	7913.881	18.59627

e. IPCC

Pada Tabel Data ini menunjukkan hubungan antara jenis sampah dan emisi gas metana (CH₄) di TPA Rawa Kucing dari tahun 1992 hingga 2030. Jenis sampah yang dianalisis meliputi sampah makanan, kertas, kayu, dan tekstil. Sampah makanan merupakan penyumbang utama emisi metana, dengan jumlah yang terus meningkat hingga tahun 2030. Sampah kertas dan kayu mulai berkontribusi sejak tahun 1997 dan 2002, meskipun dalam jumlah kecil. Sampah tekstil tidak memberikan kontribusi signifikan. Emisi metana meningkat dari 2 satuan pada tahun 1993 menjadi 27 satuan pada tahun 2030, seiring bertambahnya volume sampah organik. Data ini menegaskan pentingnya pengelolaan limbah organik untuk menekan emisi gas rumah kaca.

Tabel 4 2 Hasil Perhitungan IPCC

Tahun	Food	Papper	wood	textile	methane
1992	0	0	0	0	0
1993	0	0	0	0	2
1994	1	0	0	0	4
1995	1	0	0	0	6
1996	2	0	0	0	8
1997	2	1	0	0	9
1998	2	1	0	0	11
1999	2	1	0	0	12
2000	2	1	0	0	13
2001	3	1	0	0	14
2002	3	1	1	0	15
Tahun	Food	Papper	wood	textile	methane
2003	3	1	1	0	16
2004	3	1	1	0	17

2005	3	1	1	0	17
2006	3	1	1	0	18
2007	3	2	1	0	19
2008	3	2	1	0	19
2009	3	2	1	0	20
2010	3	2	1	0	20
2011	3	2	1	0	21
2012	3	2	1	0	21
2013	3	2	1	0	22
2014	4	2	1	0	22
2015	4	2	1	0	23
2016	4	2	1	0	23
2017	4	2	1	0	24
2018	4	2	1	0	24
2019	4	2	1	0	25
2020	4	3	1	0	25
2021	4	3	1	0	25
2022	4	3	1	0	26
2023	5	3	2	0	26
2024	5	3	2	0	26
2025	5	3	2	0	26
2026	4	3	2	0	26
2027	4	3	2	0	27
2028	5	3	2	0	27
2029	5	3	2	0	27
2030	5	3	2	0	27

Lampiran 5 Inventory Analisis

a. Controlled Landfill

Hasil pada Tabel 5.1 menunjukkan bahwa meskipun beberapa fraksi memiliki potensi daur ulang tinggi, masih terdapat volume residu yang besar. Hal ini menjadi dasar penting dalam perencanaan sistem pengelolaan lanjutan, termasuk pemilahan di sumber, penguatan sektor daur ulang, dan optimalisasi teknologi *landfill* untuk mengurangi residu sampah yang masuk ke TPA.

Tabel 5 1 Inventory Controlled Landfill

	Material	Jumlah Sampah (Kg)	Jumlah Sampah (Ton)	f	Recycled	Sisa	Persentase Sampah
Controlled Landfill	Sisa Makanan	212660	212.6603	.85	180.7613	1.89904	3
	Sampah Kebun	72266	72.26561	.85	61.42577	0.83984	1
	Plastik	116105.8032	116.1058	.7	81.27406	4.83174	3
	Kertas/Karton	158584.8295	158.5848	.5	79.29241	9.29241	7
	Besi/Logam	116105.8032	116.1058	.8	92.88464	3.22116	2
	Kaca	116105.8032	116.1058	.65	75.46877	0.63703	4
	Karet	345471.3325	345.4713	.25	86.36783	59.1035	2
	Kain	283175.8315	283.1758		0	83.1758	2
	Sampah Lainnya	229365.5293	229.3655		0	29.3655	2
	Total TPA Rawa Kucing	1306949	1306.949				100.00%

b. Pengomposan dan 3R

Pada Tabel 5.2 Skenario ini menunjukkan bahwa pendekatan pengurangan di sumber dan pemrosesan awal mampu mengalihkan lebih dari 75% sampah dari landfill, sehingga sangat efektif untuk mengurangi beban lingkungan dan emisi gas rumah kaca. Penerapan skenario ini direkomendasikan untuk pengelolaan sampah yang lebih berkelanjutan.

Tabel 5 2 Inventory Pengomposan dan 3R

Skenario 1 (3R, Pengomposan, Sanitary Landfill)	Material	Jumlah Sampah (Kg)	Jumlah Sampah (Ton)	Rf	Recycled	Sisa	Persentase Sampah
Pengomposan	Sisa Makanan	212,660.29	212.7	0.85	180.7613	31.89904	18.92%
	Sampah Kebun	72,265.61	72.3	0.85	61.42577	10.83984	
	Tot Pengomposan	284,925.90	284.9		242.187	42.73889	
Daur Ulang	Plastik	116,105.80	116.1	0.7	81.27406	34.83174	56.61%
	Kertas/Karton	158,584.83	158.6	0.5	79.29241	79.29241	
	Besi/Logam	116,105.80	116.1	0.8	92.88464	23.22116	
	Kaca	116,105.80	116.1	0.65	75.46877	40.63703	
	Karet	345,471.33	345.5	0.25	86.36783	259.1035	
	Tot. Daur Ulang	852,373.57	852.4			852416	
Controlled Landfill	Sisa Residu Daur Ulang + Pengomposan	85,241.63	852.4	Seluruhnya Masuk Ke Sanitary Landfill			24%
	Kain	283,175.83	283.2				
	Sampah Lainnya	229,365.53	229.4				
	Total	368,417.46	368.4				
Total Tpa Rawa Kucing		1,505,716.94					100.00%

c. Methaane Capture

Skenario ini menunjukkan efektivitas tinggi dalam pengurangan sampah langsung ke TPA melalui pemanfaatan bahan organik dan anorganik. Selain itu, penerapan methane capture memberi nilai tambah dalam pengendalian emisi gas rumah kaca, sekaligus mendukung transisi menuju pengelolaan sampah yang lebih ramah lingkungan.

Tabel 5 3 Inventory Methane Capture

Skenario 3 (Pengomposan, Methane Capture Dan Sanitary Landfill)	Material	Jumlah Sampah (Kg)	Jumlah Sampah (Ton)	Rf	Recycled	Sisa	Persentase Sampah
Pengomposan	Sampah Kebun	72,265.61	72.27	85.00	6,142.58	(6,070.31)	4%
Methane Capture	Sisa Makanan	212,660.29	212.66	0.85	180.76	31.90	13%
Daur Ulang	Plastik	116,105.80	116.11	0.70	81.27	34.83	52%
	Kertas/Karton	158,584.83	158.58	0.50	79.29	79.29	
	Besi/Logam	116,105.80	116.11	0.80	92.88	23.22	
	Kaca	116,105.80	116.11	0.65	75.47	40.64	
	Karet	345,471.33	345.47	0.25	86.37	259.10	
	Tot. Daur Ulang	852,373.57	852.37			437.09	
Controlled Landfill	Sisa Residu Daur Ulang + Pengomposan	437.09	0.03				31%
	Kain	283,175.83	283.18				
	Sampah Lainnya	229,365.53	229.37				
	Total	512,978.45	512.98				
Total TPA Rawa Kucing		1,650,277.92					100%

RIWAYAT HIDUP



Foto profil
terbaru
dicantumkan
di sini.

Nama penulis adalah Raina Salsabilla Rahmawati, yang lahir di Cirebon pada tanggal 8 Juni 2003. Penulis merupakan anak ketiga dari pasangan Bapak Budiyono dan Ibu Ken Tuti Harsini. Penulis pertama kali masuk ke SD Negeri Silih Asuh I Kota Cirebon pada tahun 2009, kemudian melanjutkan pendidikan di SMP Negeri 1 Kota Cirebon pada tahun 2015, dan selanjutnya melanjutkan pendidikan di SMA Islam Al-Azhar 5 Kota Cirebon. Setelah menyelesaikan pendidikan menengah, penulis melanjutkan studi ke Perguruan Tinggi Swasta sebagai mahasiswa di Universitas Islam Indonesia, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Jurusan Teknik Lingkungan pada tahun 2021.

Selama masa perkuliahan, penulis aktif mengikuti kepanitiaan *Indonesian Youth Festival* dan Pekan Ta'aruf Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan pada tahun 2022. Selain itu, penulis juga terlibat dalam organisasi Lembaga Eksekutif Mahasiswa Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan. Pada tahun 2024, penulis mengikuti *short program Summer Course* di Universitas Kuala Lumpur.