"ESTIMASI JUMLAH GAS METANA (CH_4) PADA KEGIATAN PENIMBUNAN SAMPAH DI TPA NGIPIK KABUPATEN GRESIK MENGGUNAKAN LANDGEM"

TUGAS AKHIR

Diajukan untuk melengkapi syarat mendapatkan gelar Sarjana Teknik (S.T) pada Program Studi Teknik Lingkungan

UIN SUNAN AMPEL
S U R A B A Y A

Disusun Oleh

ALDI PRASETYA PRATAMA
NIM. H95219038

Dosen Pembimbing
Shinfi Wazna Auvaria, S.T, M.T.
Yusrianti, M.T.

PROGRAM STUDI TEKNIK LINGKUNGAN
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI SUNAN AMPEL
SURABAYA
2023

PERNYATAAN KEASLIAN

PERNYATAAN KEASLIAN

Nama	:	Aldi Prasetya Pratama
NIM	:	H95219038
Program Studi	:	Teknik Lingkungan
Angkatan	:	2019

Menyatakan bahwa saya tidak melakukan plagiat dalam penulisan tugas akhir saya yang berjudul "Estimasi Gas Metana (CH_4) Pada Kegiatan Penimbunan Sampah di TPA Ngipik Kabupaten Gresik Menggunakan LandGEM"

Demikian pernyataan keaslian ini saya buat dengan sebenar-benarnya. Apabila suatu saat nanti saya melakukan tindakan plagiat, maka saya bersedia menerima sanksi yang telah ditetapkan.

Surabaya, 10 Juli 2023
Yang menyatakan,

(Aldi Prasetya Pratama)
NIM. H95219038

LEMBAR PERSETUJUAN PEMBIMBING

LEMBAR PERSETUJUAN PEMBIMBING

Tugas Akhir Oleh,

Nama	:	Aldi Prasetya Pratama
NIM	:	H95219038
Judul	:	Estimasi Gas Metana (CH_4) Pada Kegiatan Penimbunan Sampah di TPA Ngipik Kabupaten Gresik Menggunakan LandGEM

Ini Telah diperiksa dan disetujui untuk diujikan

Surabaya, 12 Juli 2023

Dosen Pembimbing 1	Dosen Pembimbing II
Ir. Shinfi Wazna Auvaria, M.T.	Yusrianti, M.T.
NIP. 198603282015032001	NIP. 198210222014032001

PENGESAHAN TIM PENGUJI TUGAS AKHIR

Tugas Akhir Oleh,

Nama	:	Aldi Prasetya Pratama
NIM	:	H95219038
Judul	:	Estimasi Gas Metana (CH_4) Pada Kegiatan Penimbunan Sampah di TPA Ngipik Kabupaten Gresik Menggunakan LandGEM

Telah dipertahankan di depan tim penguji skripsi

Surabaya, 4 Juli 2023

Dosen Penguji 1

Ir. Shinfi Wazna Auvaria, M.T.
NIP. 198603282015032001

Dosen Penguji II

Yusrianti, M.T.
NIP. 198210222014032001

Dosen Penguji III

Ir. Teguh Taruna Utama, M.T.
NIP. 201603319

Dosen Penguji IV

Abdul Hakim, M.T.
NIP. 198008062014031002

Mengetahui,
Dekan Fakultas Sains dan Teknologi
UIN Sunan Ampel Surabaya

Dr. Saepul Hamdani, M.Pd.
NIP. 196507312000031002

LEMBAR PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI

KEMENTERIAN AGAMA
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI SUNAN AMPEL SURABAYA
PERPUSTAKAAN
Jl. Jend. A. Yani 117 Surabaya 60237 Telp. 031-8431972 Fax.031-8413300
E-Mail: perpus@uinsby.ac.id

LEMBAR PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI
KARYA ILMIAH UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

Sebagai sivitas akademika UIN Sunan Ampel Surabaya, yang bertanda tangan di bawah ini, saya:

Nama : ALDI PRASETYA PRATAMA
NIM : H91219038
Fakultas/Jurusan : SAINS dan TEKNOLOGI / TEKNIK LINGKUNGAN
E-mail address : aldiprasetyapertama1@gmail.com

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Perpustakaan UIN Sunan Ampel Surabaya, Hak Bebas Royalti Non-Eksklusif atas karya ilmiah :
☑ Skripsi ☐ Tesis ☐ Desertasi ☐ Lain-lain (.....)
yang berjudul :
ESTIMASI JUMLAH GAS METANA (CH_4) PADA KEGIATAN PENIMBUNAN SAMPAH DI TPA NGIPIK KABUPATEN GRESIK MENGGUNAKAN LANDGEM.

beserta perangkat yang diperlukan (bila ada). Dengan Hak Bebas Royalti Non-Eksklusif ini Perpustakaan UIN Sunan Ampel Surabaya berhak menyimpan, mengalih-media/format-kan, mengelolanya dalam bentuk pangkalan data (database), mendistribusikannya, dan menampilkan/mempublikasikannya di Internet atau media lain secara ***fulltext*** untuk kepentingan akademis tanpa perlu meminta ijin dari saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan atau penerbit yang bersangkutan.

Saya bersedia untuk menanggung secara pribadi, tanpa melibatkan pihak Perpustakaan UIN Sunan Ampel Surabaya, segala bentuk tuntutan hukum yang timbul atas pelanggaran Hak Cipta dalam karya ilmiah saya ini.

Demikian pernyataan ini yang saya buat dengan sebenarnya.

Surabaya, 14 JULI 2023

Penulis

(ALDI PRASETYA P.)

ABSTRAK

TPA Ngipik merupakan fasilitas pengolahan akhir sampah satu-satunya yang ada di Kabupaten Gresik dengan luas lahan sebesar 7,3 Ha. Jumlah sampah yang masuk ke TPA Ngipik pada tahun 2022 adalah 77.693 ton. Sistem pengelolaan sampah akhir di TPA Ngipik masih menggunakan sistem *open dumping.* Sejak tahun dibukanya TPA Ngipik pada tahun 2002 belum adanya pemanfaatan gas yang dihasilkan dari kegiatan penimbunan sampah di TPA Ngipik. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui besaran timbulan, komposisi, dan densitas sampah di TPA Ngipik melalui proses sampling, mengestimasikan jumlah gas menggunakan pemodelan LandGEM dan IPCC, dan menganalisa pemanfaatan gas untuk menjadi listrik. Penelitian ini mengacu pada SNI 19-3964-1994 untuk proses sampling. Hasil sampling di lapangan menunjukkan bahwa timbulan rata-rata tahun 2022 adalah sebesar 0,274 kg/org/hari. Nilai rata-rata densitas sebesar 244,55 kg/m^3, dan persentase terbanyak untuk komposisi sampah berupa sampah makanan sebesar 35,37%, dan persentase terkecil adalah sampah kaca sebesar 1,22%. Menurut Dinas Lingkungan Hidup Kabupaten Gresik, masa layanan TPA Ngipik sudah berhenti sejak tahun 2018 tetapi sampai sekarang masih beroperasi karena terkendala lahan. Berdasarkan perhitungan masa layanan TPA Ngipik berhenti pada tahun 2015. Pemodelan gas metana dengan LandGEM mendapatkan hasil pada tahun 2023 sebesar 3.205,71 mg/tahun jika dikoncersi menjadi listrik sekitar 2.560 KiloWatt atau 2,56 MegaWatt listrik.

Kata kunci: TPA Ngipik, *Open Dumping, LandGEM*

UIN SUNAN AMPEL
S U R A B A Y A

http://digilib.uinsby.ac.id/http://digilib.uinsby.ac.id/http://digilib.uinsby.ac.id/

ABSTRACT

TPA Ngipik is the only final waste processing facility in Gresik Regency, with a land area of 7.3 Ha. The amount of waste that goes to the Ngipik TPA in 2022 is 77,693 tonnes. The final waste management system at TPA Ngipik still uses an open dumping system. Since the Ngipik TPA opened in 2002, there has been no utilization of the gas produced from waste stockpiling activities at the Ngipik TPA. This study aims to determine the amount of generation, composition, and density of waste at TPA Ngipik through a sampling process, estimate the amount of gas using LandGEM and IPCC modelling, and analyze gas utilization for electricity. This study refers to SNI 19-3964-1994 for the sampling process. Field sampling results show that the average yield in 2022 is 0.274 kg/person/day. The average density value is 244.55 kg/m3; the highest percentage is for the composition of waste in food waste, 35,37%, and the smallest portion is glass waste at 1.22%. According to the Gresik Regency Environmental Service, the Ngipik TPA service period has stopped since 2018, but until now, it is still operating due to land constraints. Based on the calculation of the service life of the Ngipik TPA, it will stop in 2015. Modelling methane gas with LandGEM will yield a yield 2023 of 3,205.71 mg/year if converted to electricity of around 2,560 KiloWatt or 2.56 MegaWatt of electricity.

Keywords: TPA Ngipik, LandGEM, IPCC

UIN SUNAN AMPEL
S U R A B A Y A

http://digilib.uinsby.ac.id/http://digilib.uinsby.ac.id/http://digilib.uinsby.ac.id/

DAFTAR ISI

PERNYATAAN KEASLIAN ..... **ii**

LEMBAR PERSETUJUAN PEMBIMBING ..... **iii**

PENGESAHAN TIM PENGUJI TUGAS AKHIR ..... **iv**

LEMBAR PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI ..... **v**

HALAMAN MOTTO ..... **vi**

KATA PENGANTAR ..... **vii**

ABSTRAK ..... **ix**

ABSTRACT ..... **x**

DAFTAR ISI ..... **xi**

DAFTAR TABEL ..... **xv**

BAB I PENDAHULUAN **1**

1.1. Latar Belakang 1

1.2. Rumusan Masalah 3

1.3. Tujuan Penelitian 4

1.4. Manfaat Penelitian 4

1.5. Batasan Penelitian 4

BAB II TINJAUAN PUSTAKA **6**

2.1. Sampah 6

2.1.1. Definisi Sampah 6

2.1.2. Sumber Sampah 7

2.1.3. Komposisi Sampah 8

2.1.4. Karakteristik Sampah 9

2.1.5. Timbulan Sampah 12

UIN SUNAN AMPEL
S U R A B A Y A

http://digilib.uinsby.ac.id/http://digilib.uinsby.ac.id/http://digilib.uinsby.ac.id/

2.1.6. Tempat Pembuangan Akhir (TPA) 13
2.1.7. Pengolahan Sampah di TPA 14
a. Pemilahan di TPST 14
b. Pengomposan 14
c. Insinerasi 16
2.2. Gas Landfill 19
2.3.1. Gas Metana 21
2.3.2. Karbondioksida 22
2.3.3. Nitrogen 22
2.3.4. Oksigen 22
2.3.5. Ammonia 23
2.3.6. Hidrogen Sulfida 23
2.3.7. Karbon monoksida 24
2.3.8. Proses Terbentuknya Gas Metana 24
2.3. Penentuan Potensi Gas Metana dari TPA 26
2.4. Model LandGEM 27
2.5. Perhitungan dengan Model IPCC 30
2.6. Parameter Utama IPCC 30
2.7. Perbedaan metode LandGEM dan IPCC 35
2.8. Pemanfaatan Potensi Gas Metan 37
2.9. Integrasi Keilmuan dan Keislaman dalam Menjaga Lingkungan 38
2.10. Penelitian – Penelitian Terdahulu 40

BAB III METODE PENELITIAN 45
3.1 Umum 45
3.2 Waktu dan Lokasi Penelitian 45
3.3 Tahapan Penelitian 47

UIN SUNAN AMPEL
S U R A B A Y A
http://digilib.uinsby.ac.id/http://digilib.uinsby.ac.id/http://digilib.uinsby.ac.id/

3.4 Pengumpulan Data 48
3.5 Alat dan Bahan 49
3.5.1 Alat 49
3.5.2 Bahan 49
3.6 Langkah Kerja Penelitian 50
3.6.1 Pengambilan Data 50
3.7 Analisis Data 52
3.7.1 Analisis Data Proyeksi Penduduk 52
3.7.2 Analisis Perkiraan Masa Layanan TPA 53
3.7.3 Analisis Data LandGEM 54
3.7.4 Validasi Menggunakan Model Perhitungan IPCC 2006 54
3.8 Analisis Potensi Gas Metana Menjadi Energi Listrik 57

BAB IV GAMBARAN UMUM 58
4.1 Profil TPA Ngipik 58
4.2 Struktur Organisasi TPA Ngipik 60
4.3 Fasilitas di TPA Ngipik 61

BAB V HASIL DAN PEMBAHASAN 67
5.1 Analisa Densitas Sampah TPA Ngipik 67
5.2 Analisa Timbulan Sampah TPA Ngipik 69
5.3 Analisa Komposisi Sampah TPA Ngipik 71
5.4 Analisa Proyeksi Penduduk Kabupaten Gresik 74
5.5 Analisa Proyeksi Timbulan Sampah 77
5.6 Analisa Perkiraan Masa Layanan TPA Ngipik 78
5.7 Analisa Potensi Gas Metana dengan LandGEM 79
5.8 Analisa Potensi Gas Metana Dengan Model IPCC Tahun 2002-2023 .. 86
5.9 Perbandingan Perhitungan LandGEM dan IPCC 91

UIN SUNAN AMPEL
S U R A B A Y A
http://digilib.uinsby.ac.id/http://digilib.uinsby.ac.id/http://digilib.uinsby.ac.id/

5.10 Analisa Potensi Pemanfaatan Gas Metana 94
5.11 Analisa Gas Metana Menjadi Listrik 96

BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN 101

DAFTAR PUSTAKA 103

LAMPIRAN 108

LAMPIRAN I 1

LAMPIRAN II 1

LAMPIRAN III 1

LAMPIRAN IV 1

LAMPIRAN V 1

BIOGRAFI PENULIS 1

UIN SUNAN AMPEL
S U R A B A Y A

http://digilib.uinsby.ac.id/http://digilib.uinsby.ac.id/http://digilib.uinsby.ac.id/

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Komponen Gas Landfill 20

Tabel 2. 2 Tipe Default LandGEM 28

Tabel 2. 3 Nilai Lo 28

Tabel 2. 4 Nilai DOC berdasarkan komposisi sampah..... 31

Tabel 2. 5 Komposisi Default Sampah Menurut IPCC Regional Asia Tenggara 31

Tabel 2. 6 Nilai DOC Per Komponen 32

Tabel 2. 7 IPCC Climate Zone 32

Tabel 2. 8 Default Methane Generation IPCC 33

Tabel 2. 9 Methane *Correction Factor* 34

Tabel 2. 10 Perbedaan LandGEM dan IPCC..... 35

Tabel 2. 11 Penelitian Terdahulu 40

Tabel 3. 1 Data untuk Input LandGEM..... 48

Tabel 3. 2 Data untuk Input IPCC Tiap Kegiatan 48

Tabel 3. 3 Nilai Default DOC..... 51

Tabel 4. 1 Sarana dan Prasarana di TPA Ngipik..... 61

Tabel 5. 1 Densitas Sampah 68

Tabel 5. 2 Timbulan Sampah masuk di TPA Ngipik Tahun 2018-2022..... 69

Tabel 5. 3 Timbulan Sampah Kabupaten Gresik 2018-2022 70

Tabel 5. 4 Komposisi Sampah di TPA Ngipik selama 8 hari..... 72

Tabel 5. 5 Data Jumlah Penduduk 2013-2022..... 74

Tabel 5. 6 Perhitungan Aritmatika 75

Tabel 5. 7 Perhitungan Geometri 75

Tabel 5. 8 Perhitungan Eksponensial 76

Tabel 5. 9 Proyeksi Penduduk..... 77

UIN SUNAN AMPEL
S U R A B A Y A

http://digilib.uinsby.ac.id/http://digilib.uinsby.ac.id/http://digilib.uinsby.ac.id/

Tabel 5. 10 Proyeksi Timbulan Sampah Masuk TPA Ngipik 2023 - 2032..... 78

Tabel 5. 11 Input Waste Acceptance Rates dalam LandGEM 83

Tabel 5. 12 Hasil Perhitungan Gas Metana TPA Ngipik 84

Tabel 5. 13 Tabel Gas Metana dari Kegiatan Landfilling TPA Ngipik 88

Tabel 5. 14 Hasil Perhitungan Emisi Gas Metana pada Software IPCC Berdasarkan Komposisi sampah 90

Tabel 5. 15 Perbandingan Estimasi Gas Metana LandGEM dan IPCC 91

Tabel 5. 16 Perbandingan Hasil Perhitungan Gas Metana di TPA 92

Tabel 5. 17 Tabel Konversi Menjadi Listrik berdasarkan EPA 96

Tabel 5. 18 Hasil *Result Software* LandGEM 97

Tabel 5. 19 Konversi Gas Metana menjadi Listrik 99

UIN SUNAN AMPEL
S U R A B A Y A

http://digilib.uinsby.ac.id/http://digilib.uinsby.ac.id/http://digilib.uinsby.ac.id/

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Incinerator Rotary Kiln 17

Gambar 2. 2 Multiple Heat Incinerator 18

Gambar 2. 3 Fluidized Bed Incinerator 19

Gambar 2. 4 Fase Dekomposisi Komponen Organik 20

Gambar 2. 5 Tahapan Produksi Gas Metana 24

Gambar 2. 6 Proses Pembentukan Monomer 25

Gambar 2. 7 Gambar Pembentukan Gas Metan 26

Gambar 3. 1 Lokasi TPA Ngipik 46

Gambar 3. 3 Diagram Alir Penelitian 47

Gambar 4. 1 Kondisi Eksisting TPA Ngipik 58

Gambar 4. 2 Batas Administrasi TPA Ngipik 59

Gambar 4. 3 Struktur Organisasi TPA Ngipik 60

Gambar 4. 4 Mesin RDF 62

Gambar 4. 5 Pos Jaga dan Jembatan Timbang 62

Gambar 4. 6 Kantor TPA Ngipik 63

Gambar 4. 7 Greenhouse Pembibitan 63

Gambar 4. 8 Tumpukan Kompos Setengah Matang 64

Gambar 4. 9 Kompos Matang 64

Gambar 4. 10 Bengkel 65

Gambar 4. 11 Proses Pemilahan Sampah di TPST 65

Gambar 4. 12 IPAL di TPA Ngipik 66

Gambar 5. 1 Komposisi Sampah di TPA Ngipik 73

Gambar 5. 2 Hasil Input Pada Software LandGEM 80

Gambar 5. 3 Tampilan Menu *Profide Landfill Characteristics* 80

UIN SUNAN AMPEL
S U R A B A Y A

http://digilib.uinsby.ac.id/http://digilib.uinsby.ac.id/http://digilib.uinsby.ac.id/

Gambar 5. 4 Tampilan Menu *Determine Model Parameters* 81

Gambar 5. 5 Menu *Select Gases/Pollutan* 82

Gambar 5. 6 Menu *Enter Waste Acceptance Rates* 82

Gambar 5. 7 Grafik Hasil Pemodelan LandGEM 85

Gambar 5. 8 Gambar Input pada Software IPCC Inventory 86

Gambar 5. 9 Hasil Analisa Gas Metan di Software IPCC Inventory 88

Gambar 5. 11 Contoh Penempatan Pipa dalam Timbunan Sampah di TPA Randu Agung 95

Gambar 5. 12 Teknologi *Wet Scrubber* 96

Gambar 5. 10 Skema *Landfill Gas to Electricity* 99

UIN SUNAN AMPEL
S U R A B A Y A

http://digilib.uinsby.ac.id/http://digilib.uinsby.ac.id/http://digilib.uinsby.ac.id/

BAB I
PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Sampah adalah bahan yang terbuang atau dibuang yang bersumber dari aktivitas manusia ataupun proses alam yang tidak memiliki nilai ekonomis (Tamyiz dkk., 2018). Indonesia yang merupakan negara berkembang masih sering dijumpai permasalahan mengenai sampah khususnya kota-kota besar yang memiliki aktivitas dan kepadatan tinggi serta pembangunan infrastruktur yang pesat. Sampah yang kurang maksimal dalam pengelolaannya dapat mencemari lingkungan sekitar dan berdampak buruk bagi kesehatan serta mengurangi nilai estetika karena timbulnya bau tidak sedap (Anggraini dkk., 2012). Menurut ajaran agama Islam manusia dilarang merusak lingkungan telah tertulis di dalam kitab suci Al- Quran dalam surat Al-Baqarah ayat 60:

إِذِ اسْتَسْقَىٰ مُوسَىٰ لِقَوْمِهِ فَقُلْنَا اضْرِب بِّعَصَاكَ الْحَجَرَ ۖ فَانفَجَرَتْ مِنْهُ اثْنَتَا عَشْرَةَ عَيْنًا ۖ قَدْ عَلِمَ كُلُّ أُنَاسٍ مَّشْرَبَهُمْ ۖ كُلُوا وَاشْرَبُوا مِن رِّزْقِ اللَّـهِ وَلَا تَعْثَوْا فِي الْأَرْضِ مُفْسِدِينَ

Artinya:

“Dan (ingatlah) ketika Musa memohon air uuntuk kaumnya, lalu Kami berfirman: "Pukullah batu itu dengan tongkatmu". Lalu memancarlah daripadanya dua belas mata air. Sungguh tiap-tiap suku telah mengetahui tempat minumnya (masing-masing). Makan dan minumlah rezeki (yang diberikan) Allah, dan janganlah kamu berkeliaran di muka bumi dengan berbuat kerusakan.”

Ayat diatas menjelaskan bahwa manusia hanya perlu memanfaatkan apa yang ada di bumi ini bagi kebutuhannya dan tidak merusaknya. Sampah yang menumpuk dan tidak dikelola dengan baik dapat menyebabkan banjir dikarenakan sampah menyumbat saluran air yang mengalir menuju laut.

UIN SUNAN AMPEL
S U R A B A Y A
http://digilib.uinsby.ac.id/http://digilib.uinsby.ac.id/http://digilib.uinsby.ac.id/

Pengelolaan sampah di Indonesia diatur dalam Undang-Undang Nomor 18 Tahun 2008. Upaya pengelolaan sampah yang baik perlu dilakukan agar dapat mewujudkan lingkungan perkotaan yang baik (Harjanti dan Anggraini, 2020). Dalam Permen PU RI No. 3 Tahun 2013 menyebutkan bahwa tempat untuk mengolah dan mengembalikan sampah ke lingkungan adalah TPA.

TPA Ngipik merupakan fasilitas pengolahan akhir sampah satu-satunya yang ada di Kabupaten Gresik dengan luas lahan sebesar 7,3 Ha. Jumlah sampah yang masuk ke TPA Ngipik pada tahun 2022 adalah 77.693 ton (TPA Ngipik, 2022). Area TPA Ngipik sebenarnya kurang tepat untuk dijadikan lokasi pembuangan akhir karena berdekatan dengan Telaga Ngipik yang merupakan sumber air bagi industri dan masyarakat sekitar serta berdekatan dengan area persawahan milik warga (Arsyadi, 2017). Sistem pengelolaan sampah akhir di TPA Ngipik masih menggunakan sistem open dumping (Bappeda Gresik, 2016). Sejak tahun dibukanya TPA Ngipik pada tahun 2002 belum adanya pemanfaatan gas yang dihasilkan dari kegiatan penimbunan sampah di TPA Ngipik (Balai Lingkungan Hidup Gresik, 2011).

Sistem *Open dumping* memiliki cara kerja yang sederhana dimana sampah yang masuk ditimbun begitu saja tanpa adanya proses pengolahan lebih lanjut. Penimbunan sampah di TPA dapat menghasilkan emisi Gas Rumah Kaca (GRK) dari proses fermentasi bahan organik, seperti gas metana (CH4) dan karbon dioksida (CO2) yang dapat menimbulkan pemanasan global dan perubahan iklim (Friesenhan et al., 2017). Pemanasan global berdampak nyata terhadap bumi, dan sejak tahun 1950 telah dilakukan banyak penelitian yang mengamati perubahan-perubahan yang terjadi selama puluhan tahun. Emisi gas rumah kaca yang terus bertambah dan berkelanjutan akan menyebabkan perubahan iklim yang sangat besar (IPCC, 2006).

Gas metana (CH_4) yang dihasilkan dari proses degradasi sampah organik perlu mendapatkan perlakuan khusus karena gas metana lebih berbahaya 21 kali lipat dibandingkan dengan karbon dioksida (CO_2) (Dace et al., 2015). dalam meningkatkan suhu di atmosfer bumi. Secara umum gas metana dapat dimanfaatkan sebagai biogas dan menjadi energi listrik. Langkah pertama

UIN SUNAN AMPEL
S U R A B A Y A
http://digilib.uinsby.ac.id/http://digilib.uinsby.ac.id/http://digilib.uinsby.ac.id/

yang dilakukan untuk mengelola gas metana adalah dengan menghitung potensi gas metana yang terkandung di dalam timbunan sampah di TPA Ngipik, dan jika potensi emisi gas metana ini dapat dihitung maka dapat dilakukan langkah selanjutnya yaitu memanfaatkan gas metana menjadi energi terbarukan pengganti energi fosil.

Untuk menghitung produksi jumlah gas metana yang dikeluarkan akibat kegiatan penimbunan sampah di TPA Ngipik dapat menggunakan bantuan model LandGEM dan software IPCC sebagai pembanding. Dalam penelitian (Abdullah dkk., 2020) TPA Kebon Kongok yang merupakan TPA yang masih dioperasikan dengan sistem open dumping menghasilkan gas metana yang dihitung dengan bantuan model LandGEM sebesar 12.999.633 m^3/tahun. LandGEM merupakan metode perhitungan estimasi jumlah gas metan yang dikeluarkan oleh US EPA (Environtmental Protection Agency) dengan berbasis software Microsoft Excel yang meliputi unsur gas metana (CH_4) dan karbon dioksida (CO_2), senyawa organik non-metan, dan polutan udara dari tempat pembuangan akhir (Muljono dkk., 2022). Model perhitungan IPCC 2006 merupakan model perhitungan yang dibuat oleh negara yang tergabung dalam UNFCCC (United Nations Framework Convention on Climate Change) untuk memperkirakan emisi gas rumah kaca (GRK).

1.2. Rumusan Masalah

Berdasarkan penjelasan diatas didapatkan rumusan masalah sebagai berikut:

1. Berapa jumlah timbulan sampah, densitas, komposisi sampah yang ada di TPA Ngipik?
2. Berapa jumlah produksi gas metana yang ada di TPA Ngipik dihitung menggunakan model LandGEM dan IPCC?
3. Bagaimana potensi gas metana yang berasal dari kegiatan penimbunan sampah di TPA Ngipik?

http://digilib.uinsby.ac.id/http://digilib.uinsby.ac.id/http://digilib.uinsby.ac.id/

1.3. Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini sebagai berikut:

1. Mengetahui jumlah timbulan, densitas, dan komposisi sampah di TPA Ngipik.
2. Mengestimasikan jumlah gas metana yang dihasilkan dari kegiatan penimbunan sampah di TPA Ngipik menggunakan LandGEM dan IPCC 2006.
3. Menganalisa pemanfaatan gas metana yang dihasilkan dari kegiatan penimbunan sampah di TPA Ngipik.

1.4. Manfaat Penelitian

Penelitian ini memiliki manfaat yang dapat dirasakan oleh tiga pihak, yaitu akademisi, masyarakat, dan pemerintah, yang dijelaskan sebagai berikut:

1. Bagi Akademisi
   a. Memberikan informasi ataupun data perbandingan penelitian dalam bidang pemodelan gas metana.
   b. Menyediakan informasi terkait dengan analisa potensi gas metana menggunakan LandGEM.
2. Bagi Masyarakat
   a. Memberikan pengetahuan terhadap masyarakat mengenai produksi gas metana dari kegiatan penimbunan sampah di TPA Ngipik.
3. Bagi Instansi
   a. Menjadi acuan pengembangan dalam menentukan arah kebijakan dalam bidang persampahan.
   b. Menyediakan database tentang pemanfaatan gas metana untuk dijadikan sumber energi terbarukan.

1.5. Batasan Penelitian

Penelitian ini memiliki beberapa batasan masalah yang perlu diperhatikan, diantaranya sebagai berikut:

1. Lokasi penelitian terletak di TPA Ngipik, Kabupaten Gresik.

UIN SUNAN AMPEL
S U R A B A Y A
http://digilib.uinsby.ac.id/http://digilib.uinsby.ac.id/http://digilib.uinsby.ac.id/

2. Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data jumlah penduduk Kabupaten Gresik Tahun 2002 – 2032. Data tahun 2002 – 2022 (diperoleh dari BPS Gresik), data tahun 2023 – 2032 (diperoleh dari hasil proyeksi). Data proyeksi timbulan sampah pada tahun 2002 – 2017, data sampah 2018-2022 (diperoleh dari TPA Ngipik), data proyeksi timbulan sampah hingga tahun 2023-2032.
3. Pemodelan potensi produksi gas metana menggunakan model perhitungan LandGEM v3.02 (2005) dan model perhitungan IPCC 2006.
4. Penelitian menggunakan parameter default yang tersedia pada LandGEM dan sudah disesuaikan dengan kondisi TPA.
5. Penelitian hanya berfokus pada hasil dari perhitungan gas metana (CH_4)
6. Penelitian estimasi gas metana berfokus hanya pada kegiatan penimbunan sampah saja, tidak termasuk pengolahan lain seperti pengolahan sampah secara biologi, pengolahan air lindi, ataupun operasional pengangkutan sampah dan penggunaan alat berat.

UIN SUNAN AMPEL
S U R A B A Y A

http://digilib.uinsby.ac.id/http://digilib.uinsby.ac.id/http://digilib.uinsby.ac.id/

BAB II
TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Sampah

2.1.1. Definisi Sampah

Menurut SNI 19-2454-2002 tentang Tata Cara Teknik Operasional Pengelolaan Sampah Perkotaan sampah merupakan suatu limbah baik organik maupun anorganik yang berbentuk padat dan perlu diolah agar keberadaannya tidak membahayakan lingkungan yang ada di sekitarnya. Dalam Undang-Undang No. 18 Tahun 2008 juga menyatakan tentang pengertian sampah yang merupakan sisa dari kegiatan atau aktivitas yang sebagian besar dilakukan oleh manusia dengan alam yang berbentuk padat. Menurut (Damanhuri Enri dan Tri Padmi, 2019) sisa hasil metabolisme atau aktivitas biologis manusia (*human waste*) tidak termasuk ke dalam kategori sampah.

Sampah yang dikelola menurut Undang-Undang No. 18 Tahun 2008 antara lain sebagai berikut:

1. Sampah Rumah Tangga

   Sampah rumah tangga merupakan segala sisa hasil kegiatan atau aktivitas manusia dalam rumah tangga, namun tidak termasuk tinja dan sampah plastik.

2. Sampah Sejenis Rumah Tangga

   Sampah sejenis rumah tangga merupakan sampah yang berasal dari aktivitas pada kegiatan di Kawasan industri, komersial, fasilitas umum dan sosial, dan lain sebagainya.

3. Sampah Spesifik

   Sampah spesifik merupakan sampah yang memerlukan perlakuan khusus dikarenakan perbedaan sifat, karakteristik, dan volumenya. Sampah spesifik meliputi sampah B3 (Bahan Berbahaya dan Beracun), sampah sisa bencana, puing

UIN SUNAN AMPEL
S U R A B A Y A

http://digilib.uinsby.ac.id/http://digilib.uinsby.ac.id/http://digilib.uinsby.ac.id/

bongkaran bangunan, dan sampah yang muncul secara berkala atau periodik.

2.1.2. Sumber Sampah

Menurut Undang-Undang No. 18 Tahun 2008, sumber sampah merupakan asal timbulan sampah. Sumber sampah dapat ditemui melalui berbagai aktivitas manusia seperti rumah tangga, sampah pertanian, sisa bangunan, sampah perdagangan dan perkantoran, serta sampah dari industri. Sektor yang paling banyak memproduksi sampah adalah sampah dari rumah tangga (Yunita, 2021). (Damanhuri dan Padmi, 2010) menyatakan macam-macam penggolongan sampah dapat diklasifikasikan sebagai berikut:

a. Rumah tangga, sampah yang dihasilkan oleh rumah tangga umumnya berupa sampah organik dan anorganik yang terdiri atas buangan dapur, taman, debu, taman, dan alat-alat rumah tangga.
b. Daerah komersial, yaitu sampah yang dihasilkan dari Kawasan pertokoan, industri, pasar, hotel, dan lain sebagainya. Kawasan ini paling banyak memproduksi pembungkus sisa-sisa makanan.
c. Sampah institusi, yaitu sampah yang berasal dari instansi pemerintah seperti sekolah, rumah sakit, dan pusat pemerintahan.
d. Sampah industri, yaitu sampah yang berasal dari proses produksi industri, mulai dari pengolahan bahan baku hingga terjadi hasil produksi.
e. Sampah konstruksi bangunan, yaitu sampah yang berasal dari sisa kegiatan konstruksi seperti pembuatan atau perbaikan gedung, pembongkaran jalan atau jembatan, dan lain sebagainya.
f. Sampah hasil pengelolaan air buangan serta residu pembuangan incinerator

UIN SUNAN AMPEL
S U R A B A Y A
http://digilib.uinsby.ac.id/http://digilib.uinsby.ac.id/http://digilib.uinsby.ac.id/

g. Sampah pertanian, yang berasal dari sisa aktivitas pertanian yang sudah tidak dapat digunakan atau dimanfaatkan kembali.

2.1.3. Komposisi Sampah

Komposisi sampah merupakan segala komponen fisik penting yang terdapat pada sampah yang harus dipilah sesuai dengan jenis dan karakteristiknya, seperti sisa makanan, kaca, kayu, bahan mudah terbakar, dan lain sebagainya. Pendataan komposisi sampah biasanya dituliskan dalam % berat. Data komposisi sampah ini berguna untuk menentukan peralatan, sistem, dan manajemen program serta perencanaan yang diperlukan. (Damanhuri dan Padmi, 2010). Komposisi dan karakteristik sampah dapat menunjukkan bermacam-macam kegiatan manusia.

Menurut (Damanhuri dan Padmi, 2010) Komposisi sampah dapat dipengaruhi oleh beberapa faktor, yaitu:

a. Cuaca

   Curah hujan yang tinggi membuat kandungan air di suatu daerah menjadi meningkat sehingga mengakibatkan meningginya kelembapan sampah.

b. Musim

   Pergantian musim menyebabkan pergantian jenis tumbuhan (buah-buahan) yang mengakibatkan terjadinya perbedaan komposisi jenis buah tiap musimnya.

c. Frekuensi Pengumpulan

   Sampah yang dikumpulkan dalam waktu yang cepat akan membentuk tumpukan sampah yang tinggi.

d. Tingkat Sosial Ekonomi

   Daerah dengan tingkat sosial ekonomi yang tinggi biasanya lebih banyak memproduksi sampah jenis kaleng, kertas, kaca, dan barang pecah belah lainnya.

e. Kemasan Produk

UIN SUNAN AMPEL
S U R A B A Y A
http://digilib.uinsby.ac.id/http://digilib.uinsby.ac.id/http://digilib.uinsby.ac.id/

Macam-macam kemasan produk menghasilkan berbagai jenis komposisi sampah yang berbeda, contohnya plastik kemasan produk olahan siap saji, kertas sebagai pembungkus makanan, kaleng sebagai kemasan minuman, dan lain-lain.

f. Pendapatan per Kapita

Masyarakat dengan penghasilan rendah biasanya menghasilkan jumlah sampah yang lebih sedikit daripada masyarakat yang berpenghasilan tinggi.

2.1.4. Karakteristik Sampah

Karakteristik sampah merupakan segala sifat yang meliputi sifat fisik, kimia, dan biologi yang terdapat pada sampah tersebut (Ruslinda dan Hayati, 2013) Karakteristik sampah secara umum dapat digunakan untuk mempertimbangkan pengambilan sampel dan penentuan proses pengolahan yang akan digunakan seperti insinerasi, pengomposan, (Damanhuri Enri dan Tri Padmi, 2019). Karakteristik sampah terbagi menjadi tiga kategori yaitu:

a. Karakteristik fisika

Karakteristik fisika sampah terdiri dari:

1). Densitas sampah yang dinyatakan dalam satuan (kg/m^3).

Densitas sampah adalah perbandingan antara berat (dalam keadaan basah) dan volume (dalam keadaan basah). Petunjuk pengukuran densitas sampah diatur dalam SNI 19-3964-1994 untuk menggambarkan densitas yang ada di dalam wadah rumah tangga, gerobak sampah, dan truk pengangkut. Nilai densitas tinggi biasanya diperoleh pada saat musim penghujan.

2). Kelembapan (Kadar Air)

Kandungan air dalam sampah adalah jumlah air yang terdapat di dalam sampah. Kandungan air dapat dinyatakan sebagai persentase dari berat kering atau berat basah sampah, meskipun umumnya diukur dari

UIN SUNAN AMPEL
S U R A B A Y A

http://digilib.uinsby.ac.id/http://digilib.uinsby.ac.id/http://digilib.uinsby.ac.id/

berat sampah dalam keadaan basah. Kandungan air dalam sampah dapat sangat bervariasi tergantung pada jenis komposisi sampah, iklim dan cuaca, tingkat curah hujan, serta kelembaban. Kandungan air dalam sampah menjadi penting karena berpengaruh pada densitas sampah, tingkat kompaksi, proses dekomposisi, pelindian komponen sampah, dan nilai kalor dalam insinerasi. Kandungan air dapat diukur dengan cara menimbang kehilangan air saat dipanaskan pada suhu 105°C setelah berat sampah stabil.

3). Ukuran dan distribusi partikel.

Ukuran dan distribusi partikel memiliki peran penting dalam menentukan jenis pengolahan sampah, terutama dalam proses pemisahan partikel besar dan kecil. Pemisahan dapat dilakukan dengan menggunakan alat manual maupun mekanis (Azkha, 2006).

4). *Field capacity*

Field capacity merupakan jumlah air yang dapat disimpan dalam sampah dan dapat keluar dari sampah karena gaya gravitasi. Hal ini sangat penting untuk diketahui dalam pembentukan leachate di area pembuangan sampah, karena leachate terbentuk dari air yang berasal dari sampah. Kapasitas lapang dapat bervariasi tergantung pada tekanan dan tingkat dekomposisi sampah (Hariastuti, 2013).

5). Permeabilitas sampah yang dipadatkan

Penting untuk mengetahui konduktivitas hidrolik sampah karena hal tersebut dapat mempengaruhi pergerakan cairan dan gas di dalam area pembuangan sampah (Hariastuti, 2013).

6). Nilai Kalor

UIN SUNAN AMPEL
S U R A B A Y A

http://digilib.uinsby.ac.id/http://digilib.uinsby.ac.id/http://digilib.uinsby.ac.id/

Nilai kalor merupakan besaran untuk menggambarkan jumlah kalor yang dikandung dari suatu bahan, semakin tinggi nilai kalor maka semakin tinggi nilainya dan akan lebih lama terbakar Karakteristik kimia (Damanhuri Enri dan Tri Padmi, 2019)

Karakteristik kimia sampah meliputi kadar air, kadar volatil, kadar *fixed* carbon, dan kadar abu.

1). Proximate analisis

a. Kelembapan (kadar air berkurang pada temperatur 105ºC dalam waktu 60 menit).
b. *Volatile combustible matter* (berat sampah yang berkurang pada proses pemanasan dengan temperatur 650ºC).
c. *Fixed carbon* (sisa material setelah volatile hilang)
d. *Ash* (sisa pembakaran).

2). Titik Lebur Abu

Merupakan titik temperatur pembakaran yang menghasilkan abu sekitar suhu 550 ºC

3). Ultimate analisis

Analisis ultimate dari komponen penyusun sampah biasanya digunakan untuk menentukan kadar Carbon (C), Hidrogen (H), Oksigen (O), Nitrogen (N), sampah. Hasil dari analisis ini digunakan untuk menentukan karakterisasi komposisi kimia dari partikel organik sampah perkotaan.

b. Karakteristik biologi

Karakteristik biologi digunakan untuk menentukan karakteristik sampah organik di luar plastik,karet dan kulit dapat berupa biodegrabilitas komponen organik untuk mengetahui apakah material dalam sampah dapat diolah menjadi kompos, bau dipengaruhi oleh iklim panas, dan populasi lalat yang dapat

UIN SUNAN AMPEL
S U R A B A Y A

http://digilib.uinsby.ac.id/http://digilib.uinsby.ac.id/http://digilib.uinsby.ac.id/

berkembangbiak dalam jangka waktu kurang dari dua minggu saja (Damanhuri dan Padmi, 2010).

2.1.5. Timbulan Sampah

Timbulan sampah merupakan jumlah sampah yang dihasilkan masyarakat per-kapita per-hari, atau per-luas bangunan, atau per-panjang jalan yang dinyatakan dengan satuan berat ataupun volume (SNI 19-2454-2002). Perkiraan timbulan sampah saat ini maupun di masa depan merupakan dasar dari perencanaan, perancangan dan pengkajian (Damanhuri dan Padmi, 2010).

Dalam buku (Damanhuri Enri & Tri Padmi, 2019) Jumlah timbulan sampah dari suatu wilayah atau kota dapat diketahui dengan melakukan pengukuran se cara langsung di lapangan yaitu dengan metode:

a. Pengukuran secara langsung, pengukuran secara langsung timbulan sampah dari sejumlah sampel (rumah tangga dan non-rumah tangga) yang jumlah sampelnya ditentukan secara random-proposional di sumber selama 8 hari berutur-turut sesuai dengan SNI 19-3964-1995. Sampel hari pertama sebaiknya hanya dimaksudkan untuk uji coba, dan tidak dimasukkan ke dalam data.
b. *Load Count Analysis*, yaitu mengukur jumlah (berat dan/volume) sampah yang masuk ke TPS apabila sampah diangkut dengan gerobak dilakukan selama 8 hari berturut-turut dengan mendata jumlah dan jenis penghasil sampah yang dilayani oleh gerobak yang mengumpulkan sampah tersebut, dan akan diperoleh satuan timbulan sampah per-ekivalensi penduduk.
c. *Weight Volume Analysis,* apabila di TPS atau TPA terdapat jembatan timbang maka jumlah sampah yang masuk ke fasilitas tersebut dapat diketahui dari waktu ke waktu. Jumlah sampah masuk harian kemudian digabung dengan perkiraan

UIN SUNAN AMPEL
S U R A B A Y A

http://digilib.uinsby.ac.id/http://digilib.uinsby.ac.id/http://digilib.uinsby.ac.id/

layanan area dimana data penduduk dan sarana umum terlayani dapat dicari maka akan diperoleh satuan timbulan sampah per-ekivalensi penduduk. Apabila dalam fasilitas penerimaan sampah tidak tersedia jembatan timbang, maka pengukuran dapat dilakukan dengan cara mendata volume truk sampah yang masuk dengan menggunakan data densitas sampah di truk, kemudian akan diperoleh berat sampah harian yang masuk ke TPA.

d. *Material Balance Analysis*, analisa ini merupakan analisa mendasar dengan menganalisa secara cermat alur sampah masuk, alur sampah yang hilang dalam pengolahan, dan alur sampah yang menjadi residu dari sebuah sistem yang batasnya sudah ditentukan *(system boundary)*.

2.1.6. Tempat Pembuangan Akhir (TPA)

Tempat Pembuangan Akhir (TPA) merupakan tempat pengumpulan akhir sampah yang tata letak atau lokasinya harus terletak dengan tepat sehingga tidak menimbulkan dampak pada lingkungan sekitar tempat dibangunnya TPA (Rangga, 2022).

Dalam penelitian (Harjanti dan Anggraini, 2020) terdapat tiga metode pengelolaan sampah di Tempat Pembuangan Akhir (TPA) yang sering digunakan di Indonesia. Metode tersebut adalah:

a. *Open Dumping*, merupakan metode konvensional yang membiarkan sampah menumpuk di tanah lapang yang terbuka tanpa adanya pemrosesan lebih lanjut terhadap sampah tersebut
b. *Controlled Landfill*. *Controlled Landfill* merupakan pengembangan dari metode *Open Dumping* dengan cara menimbun sampah secara rutin (tiap tujuh hari), kemudian dilakukan pemerataan dan pemadatan sampah untuk mereduksi dampak bagi lingkungan sekitar TPA.
c. *Sanitary Landfill*, merupakan metode penumpukan sampah ke dalam suatu lahan yang cekung kemudian dilakukan pemrosesan

UIN SUNAN AMPEL
S U R A B A Y A
http://digilib.uinsby.ac.id/http://digilib.uinsby.ac.id/http://digilib.uinsby.ac.id/

berupa memadatkan sampah tersebut dan diakhiri penutupan sampah dengan tanah.

2.1.7. Pengolahan Sampah di TPA

Tempat Pembuangan Akhir (TPA) merupakan tempat berakhirnya sampah yang telah dilakukan pengolahan mulai dari sumber, pengumpulan, pemindahan atau transportasi, pemrosesan hingga tahap terakhir yaitu pengembalian ke dalam lingkungan. Berikut merupakan proses pengolahan sampah yang ada di TPA meliputi:

a. Pemilahan di TPST

TPST merupakan tempat dilakukannya kegiatan pemilahan, pengumpulan, menggunakan ulang, mendaur ulang sampah. Daur ulang merupakan suatu proses pengolahan sampah menjadi bahan baru yang berguna dan untuk mencegah terjadinya sampah yang berlebihan, menghemat energi, mengurangi polusi dan hal yang dapat menimbulkan kerusakan pada lingkungan sekitar. Daur ulang merupakan upaya untuk mengelola sampah padat yang diolah melalui proses pemilahan, pengumpulan, pemrosesan, pendistribusian atau pengangkutan, dan pembuatan produk atau barang bekas pakai menjadi barang yang berguna (Rijati dkk., 2017). Beberapa jenis sampah yang dapat didaur ulang diantaranya adalah kertas, kaca, plastik, logam (*ferrous* maupun *non-ferrous*), kayu, sisa makanan, sisa konstruksi, dan sampah rumah tangga (Raharjo, 2015).

b. Pengomposan

Kompos merupakan suatu bahan organik berupa pupuk yang mempunyai kandungan unsur N, P dan K yang tidak terlalu tinggi dan mengandung unsur hara mikro yang dapat digunakan sebagai peningkatan porositas tanah sehingga tanah menjadi subur dan mampu menyimpan banyak air. Metode untuk membuat kompos disebut komposting (Mahira I F, 2020).

UIN SUNAN AMPEL
S U R A B A Y A
http://digilib.uinsby.ac.id/http://digilib.uinsby.ac.id/http://digilib.uinsby.ac.id/

Komposting digunakan dalam proses degradasi bahan organik oleh bantuan mikroba untuk mempercepat proses degradasi dalam tanah (Imelda et al., 2020).

Menurut (Mahira I F, 2020), Pengolahan kompos dapat dikelompokkan dalam beberapa jenis sebagai berikut:

1). Komposting aerobik

Komposting aerobik merupakan komposting yang memanfaatkan oksigen atau *respiratory metabolism* yang mana mikroba yang memproduksi energi akan membantu pergerakan elektron donor menuju *external electron acceptor*. Menurut buku Pedoman Penyelenggaraan Tempat Pengolahan Sampah (TPS) 3R (Kementrian PU, 2014), menyatakan bahwa metode pengomposan secara aerobik dibagi menjadi beberapa jenis sebagai berikut:

a. Metode lajur terbuka (*open window*), yaitu pengomposan dengan cara memindahkan tumpukan ke tempat yang lain secara bergulir. Proses pengomposan ini memerlukan waktu selama 6 minggu.
b. Metode cetakan (*caspary*), yaitu pengomposan yang dilakukan sebagai upaya penghematan lahan karena prosesnya menggunakan alat berbentuk cetak untuk mengubah sampah menjadi bentuk kubus. Dalam metode ini tidak memerlukan banyak lahan karena hasilnya bisa ditumpuk.
c. Metode sistem bak terbuka (*open bin*), yaitu pengomposan dengan cara meletakkan sampah ke dalam bak-bak yang terbuka kemudian dipadatkan dan disiram lalu

UIN SUNAN AMPEL
S U R A B A Y A
http://digilib.uinsby.ac.id/http://digilib.uinsby.ac.id/http://digilib.uinsby.ac.id/

dilakukan proses pembalikan menggunakan alat pembalik.

d. Metode Takakura susun, yaitu pengomposan dengan cara menimbun sampah organik ke dalam keranjang berongga untuk keperluan aerasi (sirkulasi udara).

2). Komposting anaerobik

Komposting anaerobik merupakan pengomposan tanpa perlu menggunakan oksigen, hanya menggunakan bakteri sebagai bahan dasarnya. Bakteri yang digunakan biasanya adalah bakteri obligate anaerobik.

c. Insinerasi

Insinerasi merupakan teknologi pengolahan limbah padat menjadi gas. Pengolahan dengan insinerasi dapat mengurangi volume limbah sekitar 90% dan berat limbah sebesar 75% (Rizal dan Nurhayati, 2017). Berikut merupakan jenis limbah yang dapat dimusnahkan dengan alat incinerator adalah:

1). Limbah infeksius rumah sakit
2). Limbah industri (limbah padat)
3). Sampah makanan
4). Sampah sabun
5). Sampah kain
6). Sisa tembakau
7). Dan sampah karet-karet bekas

Manfaat dari metode insinerasi adalah dapat mengurangi jumlah dan massa sampah secara signifikan, mempercepat pengolahan limbah, membutuhkan area yang lebih kecil, serta dapat mengontrol pembuangan gas hasil pembakaran.

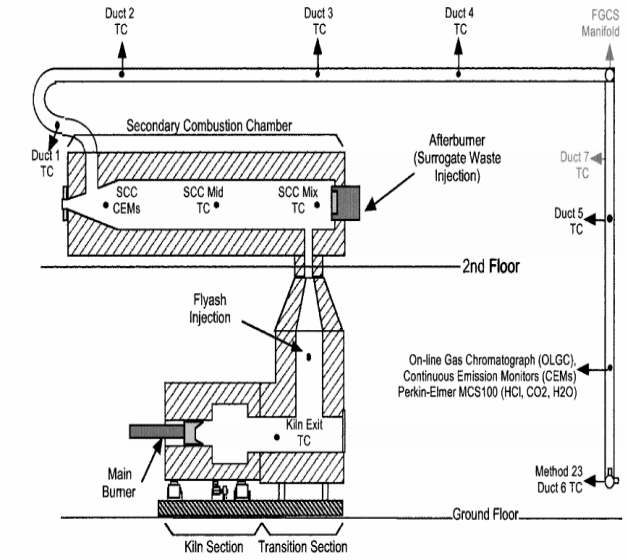
Adapun kelemahan dari metode insinerasi adalah: memerlukan investasi besar, memiliki biaya operasional yang tinggi, dan masih memerlukan langkah tambahan dalam pengelolaan abu dan residu hasil pembakaran.

UIN SUNAN AMPEL
S U R A B A Y A
http://digilib.uinsby.ac.id/http://digilib.uinsby.ac.id/http://digilib.uinsby.ac.id/

Berikut merupakan jenis-jenis insinerator dibedakan menjadi tiga tipe berdasarkan jenis bahan yang akan dibakar:

1). *Incinerator Rotary Kiln*

Mesin insinerasi ini sesuai untuk memproses sampah yang mengandung air dalam jumlah besar dan memiliki volume yang cukup besar. Prinsip kerja insinerasi rotary kiln terfokus pada rotasi ruang pembakaran utama, agar proses pembakaran limbah terjadi secara merata di seluruh bagian.



Gambar 2. 1 Incinerator Rotary Kiln

(Sumber: Lemieux & Stewart, 2004)

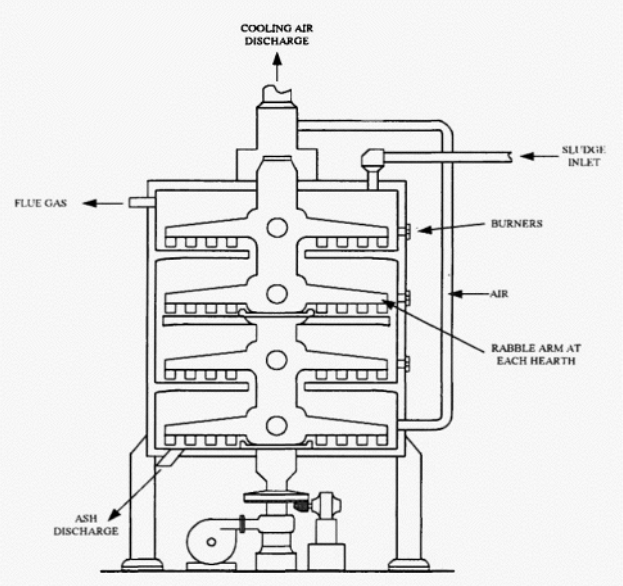
UIN SUNAN AMPEL
S U R A B A Y A

2). *Multiple Heat Incinerator*

Jenis insinerasi ini sesuai untuk mengolah sampah yang memiliki kandungan padatan di bawah 15%, di mana padatan tersebut cenderung berbentuk cairan. Multiple hearth incinerator terdiri dari beberapa tungku vertikal (5-8), dilengkapi dengan rabble arms dan rabble teeth yang berputar dengan kecepatan ¾-2 rpm. Sampah dimasukkan ke dalam tungku secara periodik melalui bagian atas, dan abu hasil pembakaran dikeluarkan

http://digilib.uinsby.ac.id/http://digilib.uinsby.ac.id/http://digilib.uinsby.ac.id/

melalui sebuah silo. Pembakaran dilakukan oleh burner yang dipasang di sisi dinding tungku. Udara masuk dari bagian bawah alat dan naik melalui tungku, sedangkan sampah dimasukkan melalui lubang yang terletak di bagian atas mesin. (Fadly, 2014).



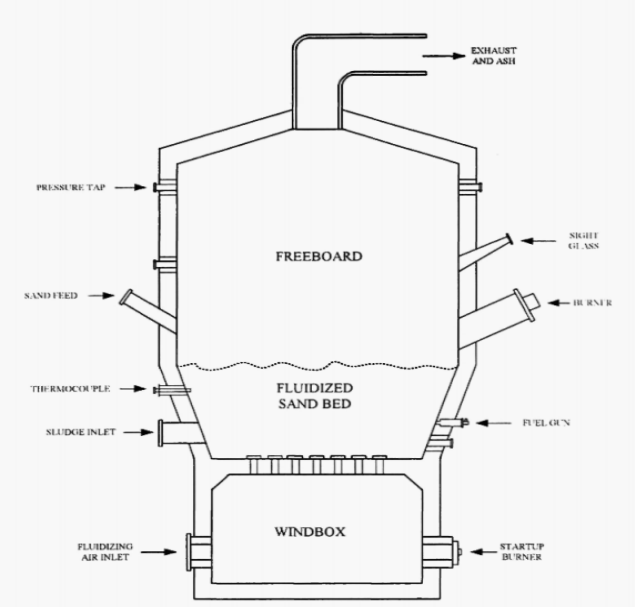
Gambar 2. 2 Multiple Heat Incinerator
(Sumber: Klenowicz & Darowicki, 2001)

3). *Fluidized Bed Incinerator*

Insinerator ini menggunakan tungku pembakar yang mengandalkan pasir kuarsa atau pasir silika sebagai media pengaduk untuk menciptakan campuran homogen antara udara dan butiran pasir. Pengadukan yang berkelanjutan memproduksi panas secara cepat dan menghasilkan pembakaran yang sempurna. Fluidized bed incinerator berbentuk silindris, tegak lurus, dengan kerangka baja yang dilapisi bahan tahan api. Di dalamnya terdapat hamparan pasir (*sand bed*) dan distributor untuk aliran udara. Metode ini digunakan sebagai alternatif untuk pembakaran sampah padat. Grid logam yang dilapisi bahan tahan api diletakkan di atas

UIN SUNAN AMPEL
S U R A B A Y A
http://digilib.uinsby.ac.id/http://digilib.uinsby.ac.id/http://digilib.uinsby.ac.id/

pasir, berisikan plat berpori yang berfungsi sebagai injektor udara untuk memfluidisasi hamparan pasir tersebut. Bahan bakar bantu digunakan pada tahap awal pemanasan untuk menghasilkan suhu sekitar 750-900°C dan mencapai suhu yang stabil untuk pembakaran. Beberapa instalasi juga dilengkapi dengan sistem semprotan air untuk mengontrol suhu dalam ruang pembakaran.



Gambar 2. 3 Fluidized Bed Incinerator
(Sumber: Klenowicz & Darowicki, 2001)

UIN SUNAN AMPEL
S U R A B A Y A

2.2. Gas Landfill

Sebuah lahan penimbunan sampah (*landfill*) dapat menghasilkan berbagai macam gas yang diakibatkan proses dekomposisi komponen organik di dalam sampah. Gas landfill merupakan gas campuran yang terdiri dari komponen gas utama yaitu gas metana, karbondioksida, dan nitrogen. Komposisi gas landfill ini bervariasi tergantung pada komposisi sampah yang masuk di TPA (Zimnoch et al., 2010). Persentase kandungan gas landfill dapat dilihat pada **Tabel 2.1** dibawah ini:

http://digilib.uinsby.ac.id/http://digilib.uinsby.ac.id/http://digilib.uinsby.ac.id/

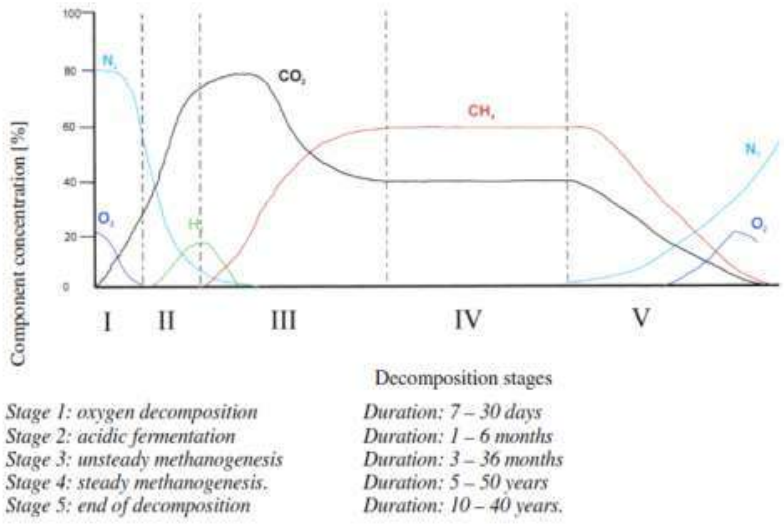
Tabel 2. 1 Komponen Gas Landfill

Komponen gas	Persentase (dry volume base)%
Metana	45-60
Karbondioksida	40-60
Nitrogen	2-5
Oksigen	0,1-1
Ammonia	0,1-1
Hidrogen Sulfida	0-0,2
Karbon monoksida	0-0,2

(Sumber: Tchobanoglous & O'leary, 2002)

Dalam penelitian (Karagiannidis et al., 2007) gas metana (CH4) yang dihasilkan di TPA dimulai pada rentang waktu 6 bulan sampai 12 bulan sejak pertama kali ditempatkan, dan meningkat jumlahnya sampai maksimum sesaat setelah penutupan TPA dan secara perlahan dapat menurun jumlahnya dalam rentang waktu 30-50 tahun.

Dekomposisi zat organik terdiri dari lima tahapan dapat dilihat pada **Gambar 2.4** yaitu: dekomposisi oksigen, fermentasi asam, *unsteady-methanogenesis*, *steady methanogenesis*, dan *end of decomposition*.



Gambar 2. 4 Fase Dekomposisi Komponen Organik

(Sumber: Nina, 2017)

Menurut (Wunanto, 2021) Gas landfill yang dihasilkan dari penimbunan sampah dapat dipengaruhi oleh:

a. Komposisi sampah

http://digilib.uinsby.ac.id/http://digilib.uinsby.ac.id/http://digilib.uinsby.ac.id/

b. Jumlah oksigen di TPA
c. Kelembapan
d. Suhu

2.3.1. Gas Metana

Gas metana merupakan salah satu gas rumah kaca yang dihasilkan oleh proses degradasi sampah organik pada saat kondisi anaerobik. Diantara semua faktor-faktor yang mempengaruhi produksi dan emisi gas metana, materi organik merupakan faktor yang mempengaruhi, menurut kajian yang telah dilakukan (Yu et al., 2013) dan (Dutta et al., 2013) kandungan zat organik tanah dan proses dekomposisinya memiliki hubungan positif dengan meningkatnya metana di atmosfer dan produksinya. Karena materi organik sebagian besar berasal dari tumbuhan dan fitoplankton (Zhang & Ding, 2011). Pada suhu ruangan metana merupakan gas yang tidak memiliki bau dan tidak memiliki warna. Bau yang terdapat dalam gas metana sengaja dibuat untuk mendeteksi jika terjadi kebocoran gas (Khoirusyi, 2020).

Gas metana merupakan komponen utama gas alam, gas metana merupakan sumber bahan bakar utama. Pembakaran satu molekul metana dengan oksigen akan melepaskan satu molekul CO_2 (karbon dioksida dan dua molekul H_2O (air):

UIN SUNAN AMPEL
S U R A B A Y A

$$CH_4 + 2O_2 \rightarrow CO_2 + 2H_2O \quad \text{Rumus 2. 1}$$

Metana (CH4) saat ini dianggap sebagai sumber energi terbarukan sehingga dapat meningkatkan perekonomian masyarakat dan menurunkan tingkat pemakaian energi dari bahan bakar fosil. Metana diharapkan memiliki peranan penting dalam sektor energi terbarukan global hingga tahun 2035 (Nina, 2017).

http://digilib.uinsby.ac.id/http://digilib.uinsby.ac.id/http://digilib.uinsby.ac.id/

2.3.2. Karbondioksida

Karbondioksida merupakan sejenis senyawa kimia yang terdiri dari dua atom yang terikat secara kovalen atau ikatan yang terbentuk antara dua atom non logam atau lebih (Nugroho, 2011). Emisi gas karbondioksida dihasilkan dari kegiatan antropogenik yaitu kegiatan yang dilakukan secara terus menerus oleh manusia seperti pembakaran bahan bakar fosil. Menurut *International Energy Agency* gas karbondioksida adalah polutan terbesar dari gas rumah kaca dengan presentase sebesar 90%. Banyaknya konsentrasi CO_2 di atmosfer dapat menyebabkan dampak negatif yang serius dalam jangka panjang bagi peningkatan suhu bumi, oleh karena itu sebisa mungkin kandungan gas karbondioksida harus dinetralisir (Subkhan dkk., 2017).

2.3.3. Nitrogen

Nitrogen merupakan salah satu gas yang tercipta dalam proses biokimia dari dekomposisi zat organik didalam timbunan sampah (Widianingtyas, 2020). Jumlah karbon dan nitrogen di dalam zat organik dinyatakan dalam rasio C/N (carbon dan nitrogen) apabila rasio C/N tinggi makan zat nitrogen akan dikonsumsi dengan sangat cepat oleh bakteri metan sampai batas persyaratan protein dan tak lama bereaksi ke arah kiri pada kandungan karbon pada sampah, sebaliknya apabila rasio C/N sangat rendah zat nitrogen akan bebas dan akan terakumulasi dalam bentuk ammonia (NH_4) (Pujiyanti, 2017).

2.3.4. Oksigen

Oksigen merupakan kandungan yang dibutuhkan dalam proses dekomposisi zat organik dimana proses tersebut dapat terjadi secara aerobik yaitu proses dimana mikroba menggunakan oksigen untuk proses dekomposisi bahan organik dan anaerobik yaitu dimana

UIN SUNAN AMPEL
S U R A B A Y A
http://digilib.uinsby.ac.id/http://digilib.uinsby.ac.id/http://digilib.uinsby.ac.id/

mikroba jenis tertentu dapat mendekomposisi zat organik tanpa bantuan oksigen (Pujiyanti, 2017).

Kandungan oksigen dalam gas *landfill* sedikit karena jika kandungan oksigen terlampau banyak maka sebagian gas CH_4 akan berubah menjadi CO_2 apabila gas metana dialirkan ke dalam pipa untuk dimanfaatkan (Herlambang dkk., 2010).

2.3.5. Ammonia

Ammonia merupakan senyawa kimia dengan rumus NH_3 yang mewakili pencemaran udara dalam bentuk bau, gas ammonia memiliki bau yang menyengat, tidak berwarna dan biasanya ammonia dihasilkan dari aktivitas mikroba, ammonia industri, pengolahan air limbah dan batubara. ammonia dihasilkan dari siklus nitrogen sampah organik yang terurai oleh mikroorganisme, dan biasanya bakteri heterotof memanfaatkan sampah organik atau sisa – sisa organisme sebagai sumber energi termasuk bakteri nitrit (*nitrosococcus)*, bakteri nitrifikasi (*nitrobacter*).

Proses perubahan N_2 menjadi NH_3 disebut dengan fiksasi nitrogen. Gas N_2 merupakan senyawa dengan kekuatan ikatan rangkap tiga antara atom nitrogen dan untuk memutuskan ikatan ini dibutuhkan banyak energi (Utami, 2022).

2.3.6. Hidrogen Sulfida

Hidrogen sulfida merupakan salah satu gas pencemar udara yang berasal dari sektor persampahan. Gas ini berasal dari proses dekomposisi sampah, dan jika gas hidrogen sulfida menyebar ke udara maka akan menurunkan kualitas udara di sekitarnya (Slamet, 2002). Hidrogen Sulfida merupakan gas yang tidak berwarna, sangat beracun, mudah terbakar dan memiliki karakteristik bau telur yang busuk. Gas ini lebih cepat dan lebih banyak diabsorbsi melalui inhalasi ketimbang melalui paparan oral sedangkan pada kulit gas ini terserap dalam jumlah yang sangat kecil (Putri, 2018).

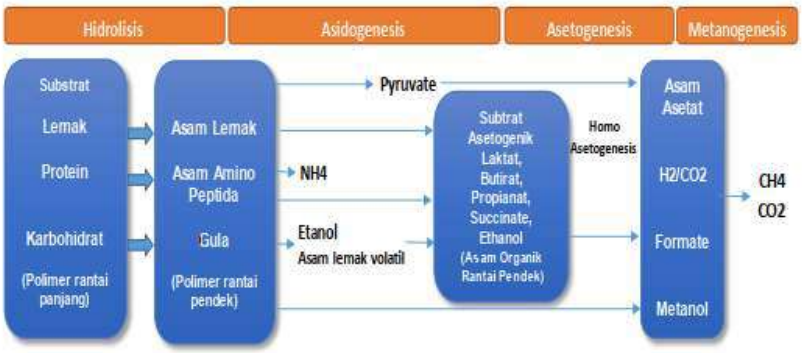
http://digilib.uinsby.ac.id/http://digilib.uinsby.ac.id/http://digilib.uinsby.ac.id/

2.3.7. Karbon monoksida

Karbon monoksida merupakan salah satu gas pencemar terbesar yang ada di udara bebas. Dampak yang ditimbulkan akibat tingginya konsentrasi karbon monoksida di udara adalah menurunnya kualitas ambien kualitas udara yang dapat berdampak pada kesehatan manusia. Gas karbon monoksida juga merupakan gas yang dengan mudah terikat dengan pigmen – pigmen darah pada manusia yaitu hemoglobin, sehingga berpotensi bersifat racun bagi tubuh manusia (Maharani, 2019).

2.3.8. Proses Terbentuknya Gas Metana

Sebelum menjadi gas metana, gas metana mengalami fermentasi yang sangat kompleks dalam pembentukannya menurut (Deublein & Steinhauser, 2011) proses tersebut dibagi menjadi empat tahapan penjelasan lebih lanjut dapat dilihat pada **Gambar 2.5** sebagai berikut:



Gambar 2. 5 Tahapan Produksi Gas Metana

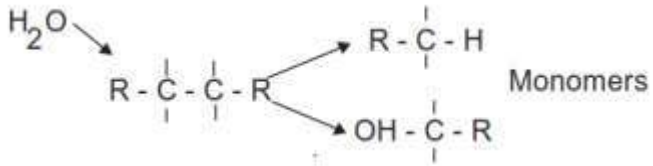
(*Sumber: Deublein & Steinhauser, 2011)*

a. Tahap Hidrolisis

Selama tahap hidrolisis, molekul air berinteraksi dengan polimer organik panjang seperti polisakarida, lemak, dan protein, sehingga terjadi pemecahan polimer tersebut menjadi molekul-molekul rantai pendek yang dapat larut atau monomer seperti gula, asam lemak rantai panjang, dan asam

http://digilib.uinsby.ac.id/http://digilib.uinsby.ac.id/http://digilib.uinsby.ac.id/

amino. Proses ini terjadi berkat kehadiran enzim seperti selulosa, amilase, lipase, atau protease yang diproduksi oleh mikroorganisme. Berikut merupakan **Gambar 2.6** proses terjadinya proses pembentukan monomer:



Gambar 2. 6 Proses Pembentukan Monomer

(Sumber: Deublein & Steinhauser, 2011)

b. Tahap Acidogenesis

Selama fase acidogenesis, monomer-monomer yang terbentuk selama fase hidrolisis mengalami degradasi menjadi asam organik rantai pendek, seperti asam butirat, asam propionat, asetat, asam asetat, alkohol, nitrogen oksida, hidrogen sulfida, hidrogen, dan karbon dioksida. Proses acidogenesis ini melibatkan berbagai jenis bakteri yang berbeda. Karbohidrat diuraikan oleh bakteri Lactobacillus, asam lemak diuraikan oleh Acetobacter, dan asam amino diuraikan oleh Clostridium botulinum. Jenis produk fermentasi yang dihasilkan dipengaruhi oleh konsentrasi ion hidrogen yang terbentuk selama proses ini.

c. Tahap Astogenesis

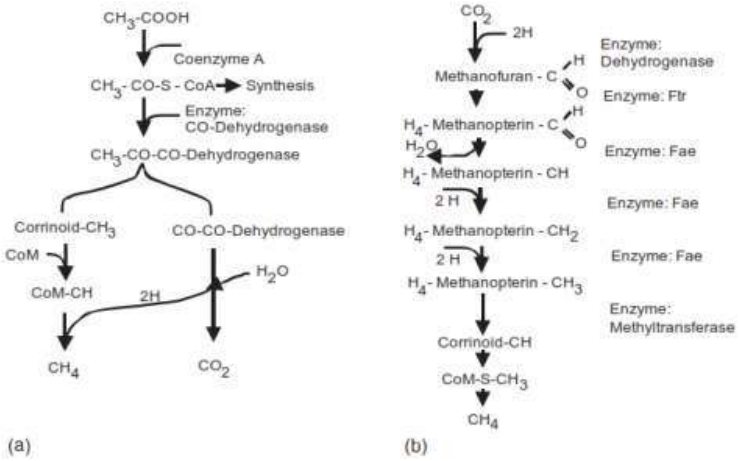
Selama tahap ini, bakteri asetogenik berperan dalam menghasilkan hidrogen dengan mengonversi asam lemak, etanol, atau alkohol menjadi asetat, karbon dioksida, dan hidrogen. Konversi ini memiliki peranan yang sangat penting dalam produksi biogas, karena bakteri metanogen tidak dapat menggunakan senyawa asam lemak dan etanol secara langsung.

d. Tahap Metanogenesis

UIN SUNAN AMPEL
S U R A B A Y A

http://digilib.uinsby.ac.id/http://digilib.uinsby.ac.id/http://digilib.uinsby.ac.id/

Proses pembentukan metana terjadi dalam kondisi anaerobik yang sangat ketat (respirasi karbon). Dalam kondisi ini, karbon yang terkandung dalam biomassa diubah menjadi karbon dioksida (larut sebagai HCO-3 + H2) dan metana. Terdapat dua jalur utama dalam pembentukan metana, pada jalur primer produk fermentasi utama yang berasal dari tahap pembentukan asam, seperti asam asetat, diubah menjadi metana dan karbon dioksida. Bakteri yang bertanggung jawab dalam mengubah asam asetat disebut sebagai bakteri aseto klastik atau asidofilik. Jalur sekunder melibatkan penggunaan hidrogen untuk mengurangi CO_2 dan menghasilkan CH_4 melalui metanogen hidrogenofilik. Hanya sejumlah senyawa tertentu dalam jumlah terbatas yang dapat digunakan sebagai substrat dalam proses metanogenesis, seperti asetat, H_2, CO_2, metanol, dan asam format. Gambar mengenai proses pembentukan gas metana dari asam asetat dan karbondioksida dapat dilihat pada **Gambar 2.7**:



Gambar 2. 7 Gambar Pembentukan Gas Metan

(Sumber: Deublein & Steinhauser, 2011)

2.3. Penentuan Potensi Gas Metana dari TPA

Perhitungan akurat mengenai pembentukan gas metana di TPA membutuhkan beberapa pertimbangan dikarenakan banyak faktor yang mempengaruhi pembentukan gas metana di timbunan sampah yang ada di

http://digilib.uinsby.ac.id/http://digilib.uinsby.ac.id/http://digilib.uinsby.ac.id/

TPA, menurut (Caicedo-Concha et al., 2019) beberapa faktor yang menentukan jumlah potensi gas metana di TPA adalah:

a. Komposisi sampah
b. Kondisi manajemen TPA
c. Cuaca dan Operasional TPA
d. Jumlah sampah yang masuk ke TPA

Ada beberapa *software* yang digunakan untuk menghitung jumlah potensi gas metana yang dihasilkan oleh kegiatan penimbunan sampah di TPA yaitu LandGEM (Landfill Gas Emission) dan IPCC. *Software* IPCC mempertimbangkan faktor waktu proses degradasi seperti fraksi karbon yang terdegradasi, suhu, pH, dan kelembapan, komposisi sampah, serta faktor koreksi metana untuk menghitung manajemen yang spesifik di lokasi dan kondisi operasional lainnya (Fei et al., 2019).

2.4. Model LandGEM

LandGEM (*Landfill Gas Emission Model*) merupakan sebuah alat analisis yang digunakan oleh *US. Environmental Protection Agency* (USEPA) untuk menghitung gas *landfill* (Kusuma dan Hasanah, 2020). LandGEM merupakan sebuah model dekomposisi orde satu yang penggunaannya dengan cara menghitung estimasi laju gas di *landfill* melalui hasil potensi kapasitas metana (Lo m^3 CH_3/ton) yang diproduksi oleh timbunan sampah dan laju pembusukan sampah (Mardhani, 2021). Model LandGEM hanya dapat menghitung perkiraan produksi gas – gas yang terkandung dalam *landfill*, bukan estimasi emisi ke atmosfer. Estimasi jumlah gas metana yang dihitung berdasarkan perkiraan timbulan metana dengan mempertimbangkan jumlah metana yang teroksidasi dalam *landfill* (Fahruddin, 2021).

LandGEM dapat menggunakan data spesifik yang didapatkan dari lokasi sebagai pengganti *default model* apabila tersedia. Data mengenai jumlah sampah dan komposisi sampah di TPA sangat bervariasi dari waktu ke waktu dan menyebabkan perubahan pada potensi gas yang dihasilkan. Model yang digunakan dalam *software* LandGEM dibagi menjadi dua yaitu

http://digilib.uinsby.ac.id/http://digilib.uinsby.ac.id/http://digilib.uinsby.ac.id/

default CAA dan *default* inventory. *Default* CAA (*Clean Air Act*) merupakan model yang digunakan atas dasar peraturan federal mengenai TPA, serangkaian parameter *default* ini menghasilkan perkiraan emisi yang konservatif dan dapat digunakan sebagai indikator apakah TPA ini mematuhi peraturan atau tidak. Sedangkan *default* inventaris merupakan sebuah model yang digunakan atas dasar faktor emisi di Amerika dan EPA, Faktor Emisi Polutan Udara (AP-42) serta dapat menghasilkan estimasi emisi untuk digunakan dalam inventarisasi emisi dan izin udara tanpa data spesifik di lapangan (Monice, 2018).

LandGEM v3.02 dapat dimanfaatkan sebagai alat untuk mengukur potensi produksi gas. Ada beberapa tipe *default* LandGEM sebagai berikut:

Tabel 2. 2 Tipe Default LandGEM

Tipe *default*	Tipe *landfill*	Nilai K $\frac{1}{tahun}$
CAA	Konvensional	0,05
CAA	Daerah kering	0,02
Inventaris (*inventory*)	Konvensional	0,04
Inventaris (*inventory*)	Daerah kering	0,02
Inventaris (*inventory*)	Lembab bioreaktor	0,7

(Sumber: US-EPA, 2005)

Nilai Lo (m3/mg) bergantung pada jenis dan komposisi sampah yang masuk ke TPA. Semakin tinggi kandungan organik dari sampah maka semakin tinggi nilai Lo yang dihasilkan.

UIN SUNAN AMPEL
S U R A B A Y A

Tabel 2. 3 Nilai Lo

Tipe *default*	Tipe *landfill*	Nilai Lo $\frac{m3}{mg}$
CAA	Konvensional	170
CAA	Daerah kering	170
Inventaris (*inventory*)	Konvensional	100
Inventaris (*inventory*)	Daerah kering	100
Inventaris (*inventory*)	Lembab bioreaktor	96

(Sumber: US-EPA, 2005)

http://digilib.uinsby.ac.id/http://digilib.uinsby.ac.id/http://digilib.uinsby.ac.id/

LandGEM-v302 didasarkan pada persamaan laju dekomposisi orde ke-1 dalam estimasi emisi tahunan untuk periode yang ditentukan. Persamaan laju dekomposisinya dapat dituliskan sebagai berikut:

$$QCH4 = \sum_{i}^{n} \sum_{j=0,1}^{1} K\ Lo\ \frac{(mi)}{10} e^{-ktej}$$

Keterangan:

QCH_4 = jumlah metana tahunan yang dihasilkan pada tahun ke-n
i = peningkatan waktu dalam 1 tahun
n = selisih antara (tahun perhitungan – tahun awal pembukaan TPA)
j = peningkatan waktu dalam 0,1 tahun
k = konstanta laju pembentukan metana
Lo = kapasitas metana potensial
mi = massa penerimaan sampah pada tahun ke-i
tij = umur ke-j massa sampah mi yang diterima pada tahun ke-I

Dalam penggunaan software LandGEM-v302 ada beberapa kelebihan dan kekurangan, sebagai berikut:

a. Kelebihan *Software* LandGEM-v302
   - Parameter data yang diperlukan sederhana, yaitu hanya membutuhkan data timbulan sampah (*bulk waste*).
   - Informasi yang diberikan dapat berupa timbulan gas dan polutan berbahaya.
   - Tidak memerlukan data secara terperinci.
b. Kekurangan *Software* LandGEM-v3.02
   - Hasil perhitungan masih sederhana karena data yang diperlukan hanya sebatas data sampah yang masuk ke TPA, umur dan komposisi TPA.
   - Hanya dapat menghitung perkiraan produksi gas-gas yang terkandung dalam landfill, bukan estimasi emisi ke atmosfer.

http://digilib.uinsby.ac.id/http://digilib.uinsby.ac.id/http://digilib.uinsby.ac.id/

2.5. Perhitungan dengan Model IPCC

Untuk menghitung emisi gas metana yang dihasilkan dari kegiatan penimbunan sampah di TPA dapat menggunakan model perhitungan IPCC 2006. Metode perhitungan IPCC ini merupakan metode yang dikeluarkan oleh *International Panel on Climate Change* (IPCC) yang digunakan seluruh negara yang meratifikasi dalam UNFCCC (*United Nations Framework Convention on Climate* Change) Dalam pelaksanaan perhitungannya diperlukan data dari kegiatan dan data faktor emisi atau serapan. IPCC telah mengembangkan tabel-tabel dalam bentuk Microsoft Excel. Tabel-tabel *spreadsheet* yang ada memerlukan informasi yang rinci, formula yang ada di kolom terakhir tiap-tiap spreadsheet akan menunjukkan hasil perhitungan emisi (Wibowo, 2013). Metode yang digunakan oleh IPCC 2006 ini memperkirakan emisi CH_4 dari tempat penimbunan sampah berdasarkan metode *First Order Decoy* (FOD). Metode FOD ini mengasumsikan bahwa *Degradable Organic Carbon* (DOC) terdekomposisi secara perlahan sehingga gas metana dan karbondioksida terbentuk (Nina, 2017).

2.6. Parameter Utama IPCC

Beberapa faktor dan parameter utama yang diperlukan untuk melakukan perhitungan menggunakan IPCC adalah sebagai berikut:

Data yang pertama dikumpulkan adalah data komposisi sampah. Dimana sampah yang dihasilkan dari setiap daerah pasti berbeda satu dengan yang lainnya. Menurut IPCC Guideline, 2006 komposisi sampah dibagi menjadi 11 komponen yaitu:

1. Sampah Makanan
2. Sampah Kebun
3. Kertas & Kardus
4. Karet dan Kulit
5. Kayu
6. Logam
7. Kaca
8. Kain/Tekstil
9. Nappies

UIN SUNAN AMPEL
S U R A B A Y A
http://digilib.uinsby.ac.id/http://digilib.uinsby.ac.id/http://digilib.uinsby.ac.id/

10. Plastik
11. Sampah Lain2

Nilai default DOC berdasarkan masing masing sampah dapat dideskripsikan pada **Tabel 2.4** dibawah ini:

Tabel 2. 4 Nilai DOC berdasarkan komposisi sampah

Komposisi	DOC (%)	
	Default	Rentang
Sisa makanan	15	8-20
Daun/tanaman	20	18-22
Kayu	43	39-46
Plastik	-	-
Kertas	40	36-45
Logam	-	-
Karet/Kulit	39	39
Kaca/Gelas	-	-
Tekstil	24	20-40
Nappies/Popok	24	18-32
Lain-Lain	-	-

(Sumber: Data Default IPCC 2006)

Kemudian ada data komposisi sampah default IPCC wilayah Asia Tenggara. Karena sampah memiliki karakteristik dan komponen yang berbeda tiap kota maupun tiap negara satu dengan yang lainnya, maka wilayah Asia Tenggara menjadi pilihan untuk pendeskripsian komposisi sampah default IPCC. Komposisi sampah daerah Asia Tenggara menurut default IPCC adalah sebagai berikut:

UIN SUNAN AMPEL
S U R A B A Y A

Tabel 2. 5 Komposisi Default Sampah Menurut IPCC Regional Asia Tenggara

No	Komponen/parameter	%DOC Komposisi Sampah (Asia Tenggara)
1	Makanan	43,5%
2	Kertas + karton + nappies	12,9%
3	Kayu	9,9%
4	Kain + tekstil	2,7%
5	Karet + Kulit	0,9%
6	Plastik	7,2%
7	Logam	3,3%

http://digilib.uinsby.ac.id/http://digilib.uinsby.ac.id/http://digilib.uinsby.ac.id/

8	Gelas	4,0%
9	Lain-lain	16,3%
	Total	100%

(Sumber: IPCC, 2006)

Degradable Organic Carbon (DOC) adalah salah satu parameter utama dalam perhitungan model IPCC dan memiliki perbedaan untuk setiap komponen sampah. Karakteristik sampah menentukan seberapa banyak gas metana yang dapat dihasilkan dari proses degradasi sampah. Saat ini, di Indonesia belum tersedia data mengenai nilai DOC sampah, sehingga perhitungan dilakukan dengan menggunakan nilai DOC default yang disediakan oleh IPCC. Indonesia sendiri belum mempunyai data mengenai nilai DOC sampah sehingga perhitungan dilakukan berdasarkan nilai DOC dari default IPCC. Kemudian besarnya nilai DOC per komponen disajikan pada **Tabel 2.6** dibawah ini:

Tabel 2. 6 Nilai DOC Per Komponen

DOC Komposisi Sampah	Nilai DOC (%)
Food waste	0,15
Garden	0,2
Paper	0,4
Wood	0,43
Textile	0,24
Disposable Nappies	0,24

(Sumber: IPCC, 2006)

UIN SUNAN AMPEL
S U R A B A Y A

Tabel 2. 7 IPCC Climate Zone

Climate Zone	MAT	MAP	MAP/PET
Dry temperature	0-20℃	-	<1
Wet temperature	0-20℃	-	>1
Dry tropical	>20℃	<1000 mm	-
Moist and wet tropical	>20℃	<1000 mm	-

(Sumber: IPCC, 2006)

http://digilib.uinsby.ac.id/http://digilib.uinsby.ac.id/http://digilib.uinsby.ac.id/

Keterangan:

MAT: Mean Annual Temperature (rata-rata suhu tahunan)

MAP: Mean Annual Precipitation (rata-rata hujan tahunan)

PET: Potential Evaporation

Tabel 2. 8 Default Methane Generation IPCC

Komposisi sampah		**Temperature**				**Tropical**			
		Dry		Wet		Dry		Moist and Wet	
		Default Value	Range	Default value	Range	Default value	Range	Default value	Range
Slowly degrading waste	Paper/textile waste	0,04	0,03-0,05	0,06	0,05-0.07	0,045	0,04-0,06	0,07	0,06-0,085
	Wood/straw/rubber waste	0,02	0,01-0,03	0,03	0,02-0,04	0,025	0,02-0,04	0,035	0,03-0,05
Moderately degrading waste	Garden and park waste	0,05	0,04-0,06	0,1	0,06-0,1	0,065	0,05-0,08	0,17	0,15-0,2
Rapidly degrading waste	Food waste/sewage sludge	0,06	0,05-0,08	0,185	0,1-0,2	0,085	0,07-0,1	0,4	0,17-0,7
Bulk MSW or Industrial Waste	Mixed Composition	0,05	0,04-0,06	0,09	0,08-0,1	0,065	0,05-0,08	0,17	0,15-0,2

Sumber: IPCC, 2006

UIN SUNAN AMPEL
S U R A B A Y A

http://digilib.uinsby.ac.id/http://digilib.uinsby.ac.id/http://digilib.uinsby.ac.id/

Angka Koreksi Metana (*Methane Correction Factor* atau MCF) adalah nilai yang digunakan untuk menggambarkan tingkat dan karakteristik dari suatu Tempat Pembuangan Akhir (TPA). IPCC mengklasifikasikan TPA menjadi lima tipe berdasarkan proses yang terjadi di dalamnya, kedalaman muka air, dan kategori yang tidak dapat dikategorikan. MCF juga dibagi menjadi lima kategori dengan masing-masing memiliki karakteristik dan penjelasan yang berbeda-beda. Methane correction factor beserta nilainya dapat dilihat pada **Tabel 2.9** dibawah ini:

Tabel 2. 9 Methane *Correction Factor*

Tipe TPA	Nilai	Keterangan
Managed anaerobic (sistem anaerobik yang terkelola)	1	Mempunyai salah satu dari kriteria yaitu mempunyai lapisan penutup, dikompaksi atau timbunan sampah yang bertingkat
Managed semi aerobic (semi aerobik yang terkelola)	0,5	Mempunyai material penutup permeable, sistem penyaluran lindi, dan ventilasi untuk gas landfill
Unmanaged deep >5m	0,8	Tidak memenuhi kriteria dan dalam
Unmanaged deep <5m	0,4	Tidak memenuhi kriteria dan dangkal
Uncategorized	0,6	Tidak dapat dikategorikan

(Sumber: IPCC 2006)

UIN SUNAN AMPEL
S U R A B A Y A

Faktor oksidasi (Ox) merupakan nilai yang menggambarkan besarnya metan yang teroksidasi oleh material penutup yang mengandung mikroorganisme methanotrophic. OX memiliki dua macam yaitu:

a. Tidak tertutup material penutup memiliki nilai OX = 0
b. Memiliki material penutup seperti tanah maupun kompos memiliki nilai OX = 0,1

Metode perhitungan emisi gas rumah kaca dari kegiatan penumpukan sampah dapat dikategorikan berdasarkan tingkat ketelitiannya sebagai berikut:

http://digilib.uinsby.ac.id/http://digilib.uinsby.ac.id/http://digilib.uinsby.ac.id/

a. Tier-1: merupakan perhitungan menggunakan metode *First Order Decay* (FOD) yang sebagian besar menggunakan angka *default* untuk data aktivitas dan faktor emisi (FE).
b. Tier-2: merupakan perhitungan berdasarkan metode FOD yang memakai data aktivitas lebih akurat dalam hal ini *country specific* (berdasarkan data 10 tahun terakhir atau lebih) digunakan untuk memperbaiki kualitas inventarisasi meskipun masih menggunakan angka dari *default* untuk faktor emisi (FE)
c. Tier-3: merupakan perhitungan berdasarkan metode FOD yang didasari oleh data-data yang lebih akurat mengenai data aktivitas yang telah menggunakan *country specific* dengan parameter-parameter penting yang telah dikembangkan secara nasional dan faktor emisi lokal.

2.7. Perbedaan metode LandGEM dan IPCC

Perbedaan metode perhitungan menggunakan model LandGEM dan IPCC menurut (Yulianto, 2022) dapat dilihat pada **Tabel 2.10** dibawah ini:

Tabel 2. 10 Perbedaan LandGEM dan IPCC

Parameter	LandGEM	IPCC	
		Komposisi	Total sampah masuk (bulk)
Equation rate	Tier 1	Tier 2, Tier 3	Tier 2, Tier 3
Model masukkan	K (total sampah/tahun)	Menggunakan DOC dan K untuk komposisi sampah, perhitungan timbulan dihitung dengan satuan perkapita	Menggunakan DOC dan K untuk komposisi sampah, perhitungan timbulan dihitung dengan satuan perkapita
Model keluaran	LFG (Landfill Gas), CH_4, CO_2, NMOC dan 46 polutan udara lainnya.	CH_4 untuk total dan untuk tiap komposisi sampah	CH_4 untuk total
Parameter masukkan	**1.** Tahun TPA beroperasi **2.** Tahun TPA direncanakan tutup	1. DOC 2. DOCf 3. Methane Generation Rate (k) 4. Delay time (waktu tunggu)	

http://digilib.uinsby.ac.id/http://digilib.uinsby.ac.id/http://digilib.uinsby.ac.id/

	3. Kapasitas desain TPA **4.** Pilihan model perhitungan penutupan **5.** Penentuan parameter model Jumlah sampah tahunan yang masuk ke TPA	5. Fraksi metana 6. Faktor konversi (C ke CH_4) 7. Faktor Oksidasi 8. MCF (Methane Correction Factor) 9. Dry Matter Content (untuk menghitung DOC 10. MSW tiap kota (manual/spreadsheet)
Tanggapan	Penggunaan yang simpel dikarenakan hanya menggunakan data sampah masuk tahunan dari awal TPA dibuka hingga tahun rencana TPA ditutup	Data yang didapatkan tidak hanya dari landfill saja tetapi dari berbagai sektor

(Sumber: Yulianto, 2022)

Kesamaan yang terletak pada model perhitungan model IPCC dan LandGEM adalah pada pembentukan gas metana. Kedua model perhitungan tersebut menggunakan satuan yang sama yaitu 1/tahun. Perbedaan antara tingkat pembentukan metana (k) IPCC dan LandGEM adalah IPCC menggunakan data default dari lokasi yang sedang dianalisis, sedangkan LandGEM menggunakan default dari jenis landfill tersebut. Kemudian perbedaan antara IPCC dan LandGEM adalah LandGEM menggunakan data riil untuk mengetahui timbulan sampah dari lima tahun ke belakang dan proyeksi penduduk untuk timbulan sampah lima tahun ke depan, sedangkan metode IPCC menggunakan data timbulan sampah dan komposisinya dari satu tahun yang dianalisis saja serta tidak bisa memproyeksikan timbulan sampa untuk tahun-tahun ke depan (Yulianto, 2022).

Kekurangan perhitungan dengan LandGEM adalah parameter masukan yang digunakan kebanyakan menggunakan parameter yang tersedia selain pada jumlah timbulan sampah, karena hal ini parameter hasil yang ditampilkan pada LandGEM menjadi tidak terlalu spesifik karena parameter masukkannya mengikuti default dan sedikit. Kelebihan yang dipunyai oleh perhitungan LandGEM adalah dalam sekali *running*, hasil parameter polutan udara dapat langsung muncul. Sementara pada metode IPCC parameter hasil yang ditampilkan cukup spesifik meskipun untuk parameter

http://digilib.uinsby.ac.id/http://digilib.uinsby.ac.id/http://digilib.uinsby.ac.id/

methane generation rate yang digunakan adalah default, tetapi parameter masukkan lain yang digunakan cukup banyak dan tidak semuanya hasil dari default. Namun dikarenakan IPCC tidak menyediakan parameter hasil berupa polutan udara yang tidak terlalu banyak, hal ini menjadi salah satu kekurangan metode IPCC, yaitu belum bisa menganalisa parameter polutan udara yang cukup banyak (Yulianto, 2022).

2.8. Pemanfaatan Potensi Gas Metan

Gas metana yang dihasilkan dapat dikonversi menjadi gas CO_2 dengan dibakar atau dapat dimanfaatkan sebagai sumber energi terbarukan seperti energi listrik atau sebagai bahan bakar, keberadaan gas metana sendiri merupakan nilai tambah dari kegiatan penimbunan sampah (Damanhuri, 2008). Biasanya gas metana dimanfaatkan menjadi biogas. Biogas merupakan gas yang terbentuk dari proses anaerobik dan biasanya bersumber dari kotoran hewan, tanaman, dan aktivitas manusia yang mengandung gas metana dan karbondioksida. Ekstraksi energi non-fosil ini merupakan salah satu bentuk energi hijau yang juga mendukung Peraturan Presiden No. 61 Tahun 2011 tentang Rencana Aksi Nasional Penurunan Emisi Gas Rumah Kaca (RAN GRK) sebagai upaya melaksanakan pembangunan yang berwawasan lingkungan.

Menurut (Monice, 2018) pengkonversian gas metana menjadi energi alternatif ada dua yaitu:

a. Proses pembakaran (*combustion*)

   Pembakaran merupakan teknologi yang paling umum digunakan dalam mengkonversi gas dari landfill terutama gas metana. Tetapi proses pembakaran gas dapat menghasilkan dampak yang negatif bagi lingkungan jika tidak melalui proses yang tepat. Teknologi pembakaran yang digunakan biasanya adalah *flare,* incinerator, boiler, turbin gas dan *internal combustion* yang dapat menghancurkan 98% senyawa organik (Yusril, 2020).

b. Teknologi non-combustion

http://digilib.uinsby.ac.id/http://digilib.uinsby.ac.id/http://digilib.uinsby.ac.id/

Teknologi non-combustion merupakan alternatif lain selain teknologi combustion yang terbagi menjadi dua kategori yaitu teknologi pemulihan energi dan konversi gas menjadi produk teknologi. Proses konversi gas metana menjadi listrik harus melalui tahapan awal yaitu gas dikumpulkan dahulu di sumur pengumpul untuk memisahkan air dan gas metana dengan menggunakan sistem adsorpsi. Gas metana kemudian dialirkan menuju pos sistem pembakaran internal, kemudian gas metana yang diterima dibakar dengan bantuan oksidan yang berada di wadah pembakarannya. Suhu yang tersebar dan tekanan gas yang tinggi menggerakan piston, nozzle, dan bilah turbin. Sebanyak 40% gas metana dari proses degradasi zat organik landfill diasumsikan tertampung, dialirkan dan dibakar untuk menghasilkan daya listrik (Yulianto, 2022).

2.9. Integrasi Keilmuan dan Keislaman dalam Menjaga Lingkungan

Manusia merupakan makhluk yang memiliki derajat tertinggi diantara makhluk ciptaan Allah SWT yang lain karena dikaruniai oleh akal dan pikiran. Oleh karena itu manusia dijadikan khalifah di bumi sebagaimana firman Allah SWT dalam surat Al-baqarah ayat 30:

وَإِذْ قَالَ رَبُّكَ لِلْمَلَائِكَةِ إِنِّي جَاعِلٌ فِي الْأَرْضِ خَلِيفَةً ۖ قَالُوا أَتَجْعَلُ فِيهَا مَنْ يُفْسِدُ فِيهَا وَيَسْفِكُ الدِّمَاءَ وَنَحْنُ نُسَبِّحُ بِحَمْدِكَ وَنُقَدِّسُ لَكَ ۖ قَالَ إِنِّي أَعْلَمُ مَا لَا تَعْلَمُونَ

Artinya:

"*Ingatlah ketika Tuhanmu berkata kepada malaikat, 'Aku ingin menjadikan seorang khalifah di muka bumi'. 'Mereka berkata:"Mengapa Engkau hendak menjadikan (khalifah) di bumi itu orang yang akan membuat kerusakan padanya dan menumpahkan darah, padahal kami senantiasa bertasbih dengan memuji Engkau dan mensucikan Engkau?' Tuhan berfirman:'Sesungguhnya Aku mengetahui apa yang tidak kamu ketahui'.*"

Dengan dikaruniai akal dan pikiran kita sebagai manusia seharusnya lebih sadar akan pentingnya menjaga lingkungan di sekitar kita khususnya menjaga dari pengolahan sampah yang buruk. Peringatan Allah SWT untuk

http://digilib.uinsby.ac.id/http://digilib.uinsby.ac.id/http://digilib.uinsby.ac.id/

menjaga alam dan jangan merusak lingkungan terhadap manusia tertulis jelas dalam surat Al-A'raf ayat 56:

وَلَا تُفْسِدُوا۟ فِى ٱلْأَرْضِ بَعْدَ إِصْلَٰحِهَا وَٱدْعُوهُ خَوْفًا وَطَمَعًا ۚ إِنَّ رَحْمَتَ ٱللَّهِ قَرِيبٌ مِّنَ ٱلْمُحْسِنِينَ

Artinya:

"*Dan janganlah kamu membuat kerusakan di muka bumi, sesudah (Allah) memperbaikinya dan berdoalah kepada-Nya dengan rasa takut (tidak akan diterima) dan harapan (akan dikabulkan). Sesungguhnya rahmat allah amat dekat kepada orang-orang yang berbuat baik.*"

Banyaknya bencana alam khususnya banjir yang terjadi di Indonesia menyadarkan masyarakat bahwa membuang sampah merupakan kebiasaan yang tidak baik dan berdampak buruk bagi lingkungan. Selain dalam UU No. 18 Tahun 2008 tentang Pengelolaan Sampah Pemerintah Indonesia juga membuat penekanan melalui Komisi Fatwa Majelis Ulama Indonesia (MUI) dengan Fatwa MUI No.41 Tahun 2014 tentang Pengelolaan Sampah Untuk Mencegah Kerusakan Lingkungan yang menyatakan bahwa "Membuang sampah sembarangan atau membuang barang yang masih bisa dimanfaatkan untuk kepentingan diri maupun orang lain hukumnya haram" serta "Pemerintah dan Pengusaha Wajib mengelola sampah guna menghindari kemudharatan bagi makhluk hidup".

Dari penjelasan-penjelasan diatas dapat ditarik kesimpulan bahwa sebagai manusia yang dikaruniai akal dan pikiran membuang sampah sembarangan serta tidak mengelola sampah dengan baik dan benar dapat menimbulkan bencana yang dapat merusak alam dan melanggar perintah Allah SWT.

http://digilib.uinsby.ac.id/http://digilib.uinsby.ac.id/http://digilib.uinsby.ac.id/

2.10. Penelitian – Penelitian Terdahulu

Tabel 2. 11 Penelitian Terdahulu

No	Nama Penulis dan Tahun	Judul Penelitian	Ringkasan Penelitian
1	(Yusril, 2020)	Potensi Produksi Gas Metana (Ch4) Dari Kegiatan *Landfilling* Di TPA Lempeni, Kabupaten Lumajang Dengan Permodelan Landgem	Berdasarkan Model landGEM, hasil perhitungan menunjukkan bahwa emisi metana standar di TPA Lempeni adalah sebesar 3,17 Gg/tahun menggunakan metode CAA, 1,55 Gg/tahun menggunakan metode inventaris standar, dan 1,44 Gg/tahun menggunakan Model IPCC. Gas metana yang dihasilkan oleh TPA Lempeni dapat dimanfaatkan sebagai sumber energi listrik dan biogas. Dalam hal konversi gas menjadi energi listrik, total daya listrik yang dihasilkan adalah sebesar 954,974 Kilowatt atau 0,965 Megawatt, dengan perkiraan nilai sekitar Rp.1.393.520,64. Sedangkan untuk biogas, gas tersebut akan diolah melalui sistem digester yang dikontrol oleh pipa dan pompa untuk digunakan sebagai bahan bakar pada kompor gas di TPA.
2	(Sasmita dkk., 2022)	Analisis Emisi CH4 dan Potensi Energi dari Tempat Pembuangan Akhir (TPA) Muara Fajar 2 Kota Pekanbaru	Berdasarkan hasil penelitian, timbunan sampah yang ada di TPA Muara Fajar 2 menunjukkan bahwa emisi gas CH4 yang paling tinggi terjadi pada tahun 2049, dengan jumlah emisi CH4 sebesar 34.847 Mg/tahun dan volume CH4 sebesar 48.560.479 m3/tahun di TPA Muara Fajar 2 Kota Pekanbaru. Listrik yang dihasilkan setiap harinya adalah sebesar 52.052,84 kWh, yang cukup untuk memenuhi kebutuhan listrik 9.362 rumah tangga di Kota Pekanbaru.
3	(Haryono dan Paryatmo, 2015)	Studi Potensi Dan Pemanfaatan Sampah Padat Perkotaan Untuk Pembangkit Listrik Di TPA Penujah Kabupaten Tegal	Berdasarkan hasil penelitian, Pemilihan teknologi untuk pembangkit listrik dari gas TPA didasarkan pada potensi laju produksi dan kapasitas produksi gas TPA dari sampah padat perkotaan yang dapat dimanfaatkan. Kabupaten Tegal memiliki potensi sumber energi yang cukup besar dari sampah padat perkotaan, sejalan dengan upaya diversifikasi energi baru terbarukan. Berdasarkan perhitungan

http://digilib.uinsby.ac.id/http://digilib.uinsby.ac.id/http://digilib.uinsby.ac.id/

No	Nama Penulis dan Tahun	Judul Penelitian	Ringkasan Penelitian
			volume sampah padat perkotaan yang diangkut dari tahun 2005 hingga 2020, diperkirakan sebanyak 6.605.184 ton, dengan jumlah yang bervariasi setiap tahun. Potensi ini dapat dikembangkan sebagai pembangkit listrik dengan kapasitas 8.000 kW, menggunakan teknologi mesin pembakaran internal dan bioreaktor TPA.
4	(Sinaga dkk., 2023)	Estimasi Produksi Gas Metana Untuk Pemanfaatan Sebagai Sumber Energi Di TPA Talang Gulo, Jambi	Melalui simulasi menggunakan LandGEM-v302, diperoleh total gas dari Tempat Pembuangan Akhir (TPA) sebesar 29,96 Gg/tahun, terdiri dari CH4 sebesar 8,002 Gg/tahun, CO2 sebesar 21,96 Gg/tahun, dan NMOC (senyawa organik bukan metana) sebesar 0,344 Gg/tahun. Hasil pengukuran lapangan menggunakan metode closed chamber di permukaan TPA Talang Gulo menunjukkan emisi CH4 sebesar 4,75 Mg/tahun. Perbedaan karakteristik di permukaan TPA memiliki dampak signifikan terhadap emisi gas yang dilepaskan ke atmosfer. Kondisi kelembapan atau kadar air dalam sampah juga mempengaruhi tingkat emisi metana. Potensi listrik yang dapat dihasilkan dari gas metana tersebut adalah sebesar 15,718 MW. Melalui analisis manfaat biaya, diperoleh Nilai Sekarang (NPV) sebesar Rp. 6.028.622.852,18, Rasio Manfaat Bersih (Net B/C Ratio) sebesar 0,00196, dan Tingkat Pengembalian Internal (IRR) sebesar 2,445%.
5	(Hatuwe dkk., 2020)	Potensi Produksi Gas Metana Di TPA Toisapu Kota Ambon	Berdasarkan penelitian ini, potensi produksi gas metana dari tahun 2019 hingga 2026 diperkirakan mencapai 5.198ton atau setara dengan 7.925.185 m3. Potensi tersebut memiliki kemampuan untuk memenuhi kebutuhan energi memasak seluruh rumah di Dusun Ama Ory jika gas metana digunakan sebagai pengganti bahan bakar. Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan pengetahuan kepada masyarakat,

UIN SUNAN SURABAYA

http://digilib.uinsby.ac.id/http://digilib.uinsby.ac.id/http://digilib.uinsby.ac.id/

No	Nama Penulis dan Tahun	Judul Penelitian	Ringkasan Penelitian
			pengelola TPA, dan instansi terkait tentang potensi pemanfaatan gas metana yang dapat diwujudkan dengan optimalisasi pengelolaan sampah organik dan anorganik di TPA Toisapu.
6	(Kaushal dan Sharma, 2016)	Methane Emission from Panki Open Dump Site of Kanpur, India	Tingkat emisi rata-rata tahunan CH_4 dari TPA open dumping Panki ditemukan sebesar 197,33 Gg, 24,27 Gg, dan 25,14 Gg dengan metode Default IPCC, metode FOD, dan model LandGEM, masing-masing, untuk periode 2010-2030. Penelitian ini mengungkapkan bahwa metode Default IPCC mengestimasi hasil yang terlalu tinggi, sehingga tidak direkomendasikan untuk TPA open dumping. Namun, model LandGEM direkomendasikan daripada metode FOD untuk TPA open dumping dikarenakan estimasi emisi CH_4 sangat mirip dibandingkan dengan emisi GHG yang dihitung menggunakan metode FOD parameter model yang sederhana menghindari estimasi yang terlalu besar. Oleh karena itu, penelitian ini menunjukkan bahwa LandGEM memberikan estimasi yang lebih baik dibandingkan dengan metode lain, dan tingkat emisi CH_4 yang dihasilkan dari analisa sebesar 25,14 Gg/tahun untuk TPA terbuka Panki, Kanpur.

UIN SUNAN AMPEL
S U R A B A Y A

http://digilib.uinsby.ac.id/http://digilib.uinsby.ac.id/http://digilib.uinsby.ac.id/

No	Nama Penulis dan Tahun	Judul Penelitian	Ringkasan Penelitian
7	(Chandra dan Ganguly, 2023)	Assessment of landfill gases by LandGEM and energy recovery potential from municipal solid waste of Kanpur city, India	Dalam penelitian ini, ditemukan bahwa jumlah gas tempat pembuangan akhir (LFGs), emisi metana, dan potensi pemulihan energi diperkirakan sebesar 233,44 × 106 m^3, 116 × 106 m^3, dan 858,14 × 106 MJ secara berturut-turut. Analisis ketidakpastian yang dilakukan menunjukkan bahwa variasi dalam emisi metana dapat disebabkan oleh parameter input k dan Lo dalam model LandGEM. Penelitian ini menunjukkan bahwa terdapat potensi yang tinggi untuk mengendalikan emisi gas rumah kaca dengan memanfaatkan metana yang dihasilkan untuk dimanfaatkan menjadi sumber energi.
8	(Saad, 2020)	A Feasibility Study On Turning Methane Into Landfill Gas For Energy In Ketereh	Dalam penelitian ini menggunakan IPCC sebagai metode yang digunakan untuk mengukur emisi gas metana. estimasi emisi gas metana yang dihasilkan dari sampah Kota Ketereh sebanyak 79,93 m^3/ton dan menghasilkan energi listrik sebesar 3,67 MW selama 30 tahun. Gas metana yang dihasilkan sebelumnya dimurnikan dulu menggunakan karbon aktif sebelum dimasukkan ke sumur khusus gas metan.
9	(Fallahizadeh et al., 2019)	Estimation of methane gas by LandGEM model from Yasuj municipal solid waste landfill, Iran	Dalam penelitian ini gas metana di estimasikan menggunakan *software* LandGEM. Sampah yang ada di TPA Yasuj pada tahun 2009, 2010, 2011, 2012 menghasilkan gas metana sebesar diperoleh sebesar 250, 275, 303, dan 330 m^3/jam secara berturut-turut. Metode dan hasil penelitian ini dapat digunakan untuk perancangan dan pelaksanaan sistem pengumpulan gas metana serta pengendalian emisi gas rumah kaca untuk TPA.

http://digilib.uinsby.ac.id/http://digilib.uinsby.ac.id/http://digilib.uinsby.ac.id/

No	Nama Penulis dan Tahun	Judul Penelitian	Ringkasan Penelitian
10	(Scheutz et al., 2022)	Methane emissions from Icelandic landfills – A comparison between measured and modelled emissions	Dalam penelitian ini menunjukkan bahwa penerapan model IPCC FOD pada tingkat nasional adalah tepat untuk memperkirakan emisi CH_4 dari TPA di Islandia. Emisi CH_4 dari TPA di Islandia dapat dikurangi dengan memperluas atau mengimplementasikan sistem pengumpulan gas metan atau biocover untuk proses oksidasi oleh mikroba yang lebih optimal.

UIN SUNAN AMPEL
S U R A B A Y A

http://digilib.uinsby.ac.id/http://digilib.uinsby.ac.id/http://digilib.uinsby.ac.id/

BAB III
METODE PENELITIAN

3.1 Umum

Penelitian ini tergolong penelitian deskriptif kuantitatif. Menurut (Sulistyawati dkk., 2022) penelitian deskriptif kuantitatif merupakan penelitian yang menggambarkan, menganalisis, dan menjelaskan suatu peristiwa dengan data (angka, grafik, tabel). Data kuantitatif diperoleh melalui dari *software* LandGEM v3.02 dan IPCC. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis potensi gas metana dari kegiatan penimbunan sampah di TPA Ngipik Gresik.

3.2 Waktu dan Lokasi Penelitian

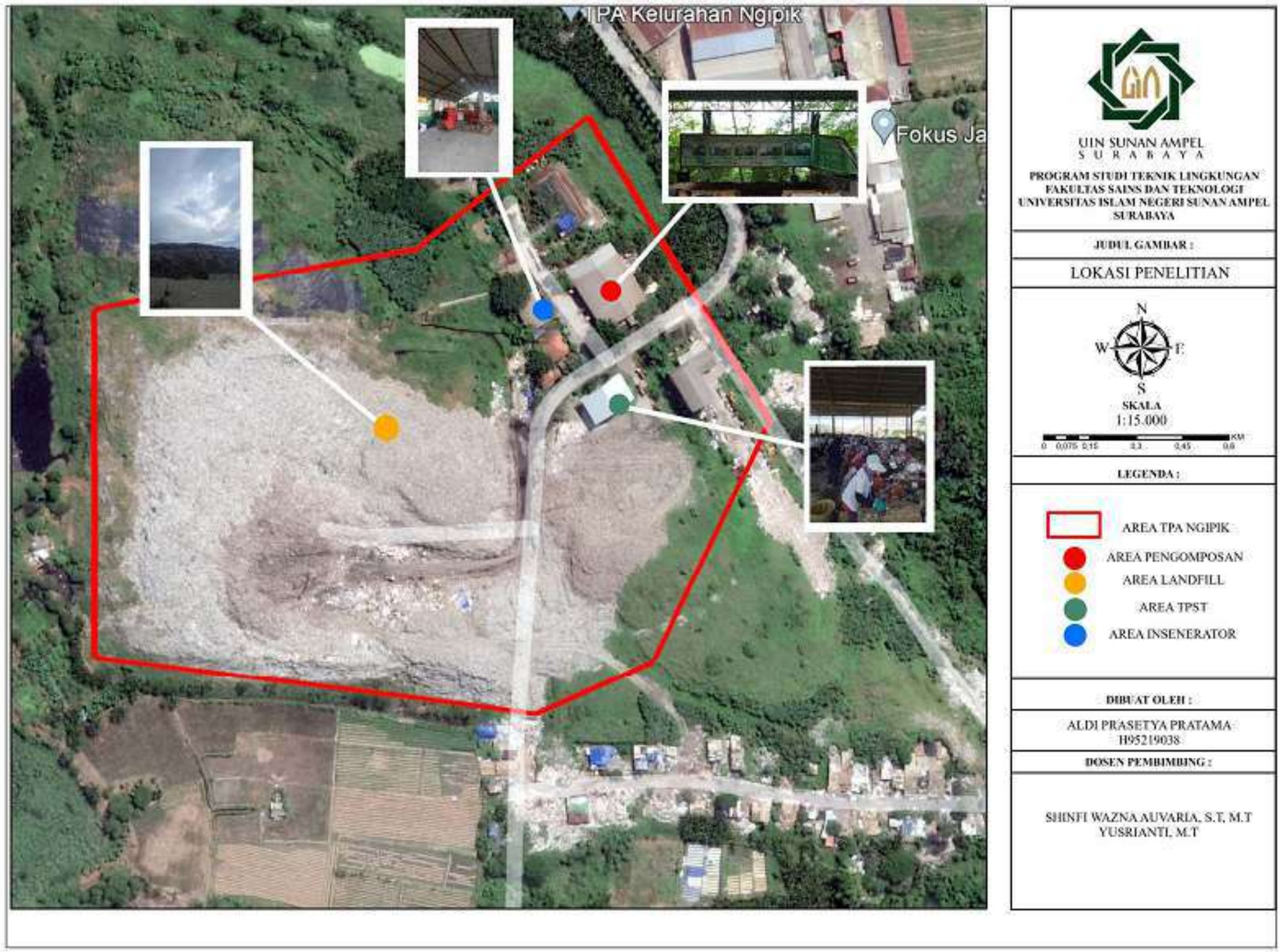
3.2.1 Waktu Penelitian

Waktu penelitian direncanakan ± 4 bulan dimulai pada bulan Maret sampai dengan bulan Juni tahun 2023. Pada bulan Maret direncanakan melakukan proses perizinan ke TPA Ngipik serta pada bulan yang sama dilakukan pengambilan sampel selama 8 hari menurut panduan SNI 19-3964-1994 di TPA Ngipik, kemudian pada bulan April hingga Juni dilakukan analisis, penyusunan data dan penyusunan laporan.

3.2.2 Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian dilakukan di TPA Ngipik yang beralamat di JL. Prof. Dr. Moh. Yamin No.17 Sekarsore, Roomo, Kecamatan Gresik, Kabupaten Gresik, Jawa Timur. Detail lokasi dapat dilihat pada **Gambar 3.1** dibawah ini:

http://digilib.uinsby.ac.id/http://digilib.uinsby.ac.id/http://digilib.uinsby.ac.id/



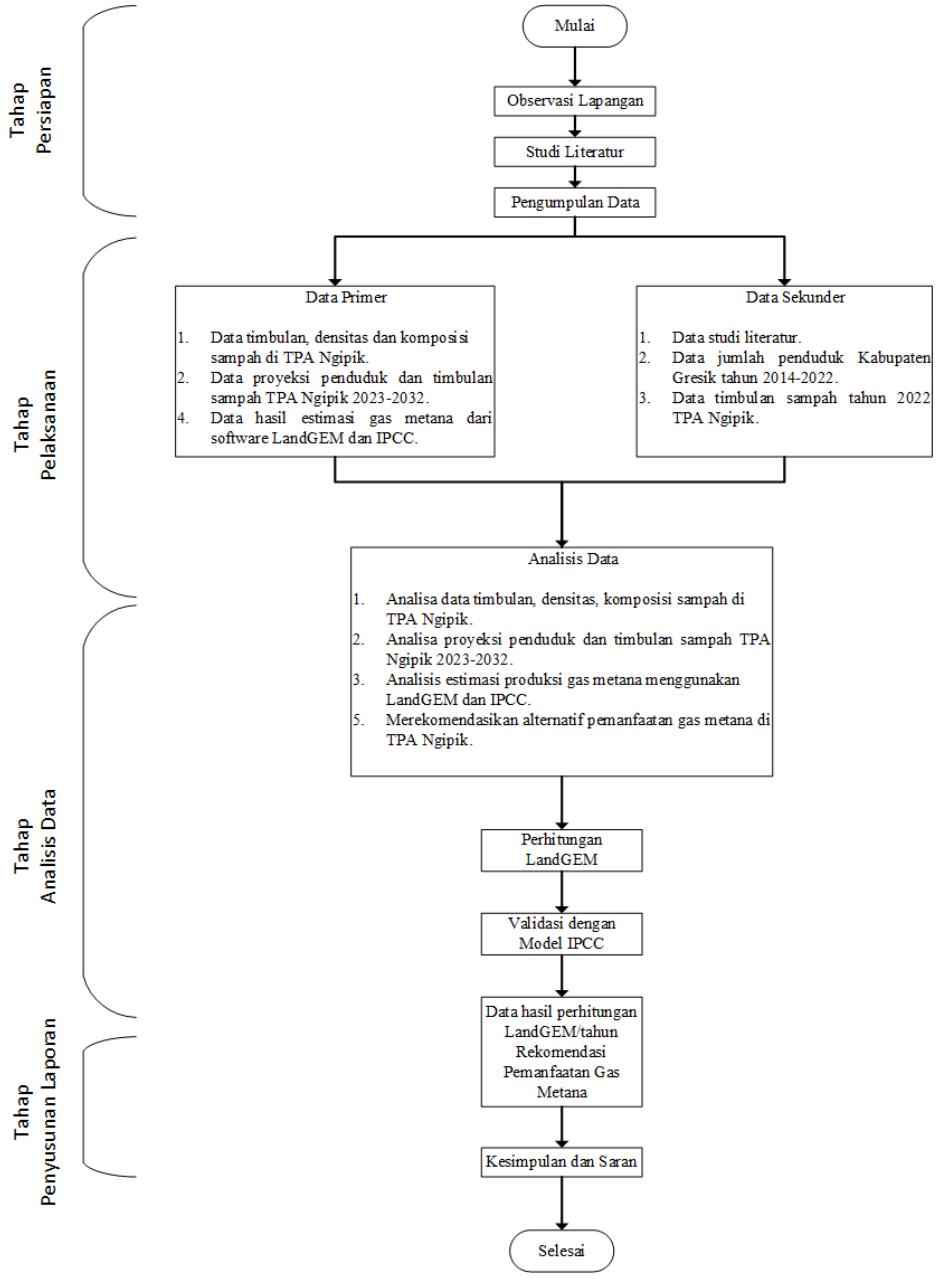
Gambar 3. 1 Lokasi TPA Ngipik

(Sumber: Hasil Analisa, 2023)

http://digilib.uinsby.ac.id/http://digilib.uinsby.ac.id/http://digilib.uinsby.ac.id/

3.3 Tahapan Penelitian

Pada tahap penelitian ini, akan disampaikan rangkaian kegiatan yang dilakukan oleh peneliti dari awal hingga akhir penelitian. Diagram alir akan digunakan untuk menjelaskan tahapan-tahapan dalam penelitian ini. Adapun tahapan penelitian pada penelitian ini dijelaskan pada **Gambar 3.3**.



Gambar 3. 2 Diagram Alir Penelitian

(Sumber:Hasil Analisa, 2023)

http://digilib.uinsby.ac.id/http://digilib.uinsby.ac.id/http://digilib.uinsby.ac.id/

3.4 Pengumpulan Data

Dalam penelitian ini ada beberapa tahapan yang dilakukan yaitu: pengumpulan data primer, sekunder dan analisis dari *software* LandGEM dan model perhitungan IPCC 2006. Data primer merupakan data yang didapatkan oleh peneliti secara langsung dari lapangan dan observasi langsung di TPA Ngipik. Data primer yang dibutuhkan dalam penelitian ini yaitu: data timbulan sampah, densitas, komposisi dari hasil sampling selama 8 hari berturut-turut. Data sekunder merupakan data yang sebelumnya sudah ada. Data sekunder yang diperlukan dalam penelitian ini yaitu: data jumlah penduduk Kabupaten gresik tahun 2002-2022, data timbulan sampah di TPA Ngipik tahun 2018-2022. Penjelasan lebih lanjut dapat dilihat pada **Tabel 3.1. dan Tabel 3.2.**

Tabel 3. 1 Data untuk Input LandGEM

No	Data yang diperoleh	Metode /Sumber Data	Jenis Data
	Data Sampah		
1.	Timbulan Sampah	Weight volume analisis	Primer
2.	Komposisi Sampah	SNI 19-3964-1994	Primer
3.	Densitas Sampah	SNI 19-3964-1994	Primer
	Aspek Non Teknis Pengolahan		
1.	Jumlah Penduduk Kabupaten Gresik Tahun 2014-2022	BPS Gresik	Sekunder
2.	Data Proyeksi Penduduk Kabupaten Gresik	Perhitungan	Primer
3.	Data tahun rencana TPA ditutup	DLH Gresik	Sekunder
4.	Kapasitas desain TPA Ngipik	Perhitungan Kapasitas	Primer
5.	Penentuan parameter model	Hasil Analisa	Primer
6.	Methane Generation Rate (k) 1/tahun	LandGEM	Sekunder
7.	Potential Methane Generation (Lo)	LandGEM	Sekunder
8.	Konsentrasi NMOC Ppmv sebagai hexana	LandGEM	Sekunder
9.	Methane Content (% by volume)	LandGEM	Sekunder
10.	Parameter default LandGEM	LandGEM	Sekunder

(Sumber: Yulianto, 2022, dan Hasil analisa, 2023)

Tabel 3. 2 Data untuk Input IPCC Tiap Kegiatan

UIN SUNAN AMPEL
S U R A B A Y A
http://digilib.uinsby.ac.id/http://digilib.uinsby.ac.id/http://digilib.uinsby.ac.id/

No	Data yang diperoleh	Metode /Sumber Data	Jenis Data
1.	Kondisi eksisting pengolahan di TPA	Observasi	Primer
2.	Timbulan sampah	UPT TPA Ngipik	Sekunder
3.	Komposisi sampah	Sampling	Primer
4.	Jumlah sampah masuk sejak pembukaan TPA	UPT TPA Ngipik dan Proyeksi	Primer dan Sekunder
5.	Region	Lokasi Penelitian	Sekunder
6.	Metode Jenis Pendekatan	Default IPCC	Sekunder
7.	Data aktivitas	Default IPCC	Sekunder
8.	Methane Correction Faktor (MCF)	TPA Ngipik	Sekunder
9.	% to SWDS	TPA Ngipik	Sekunder
10.	Methane Recovery	TPA Ngipik	Sekunder
11.	DOC Sampah	IPCC	Sekunder
12.	Tahun Mulai	LandGEM	Sekunder
13.	Parameter default LandGEM	LandGEM	Sekunder

(Sumber: Yulianto, 2022, dan Hasil Analisa, 2023)

3.5 Alat dan Bahan

3.5.1 Alat

Alat-alat yang dipakai dalam proses penelitian ini adalah:

a. Kotak densitas berbahan kayu dengan ukuran 500 L
b. Timbangan digital 100 kg
c. Sarung tangan karet
d. Masker
e. *Software* LandGEM dan Model Perhitungan IPCC

3.5.2 Bahan

Bahan yang dipakai dalam penelitian ini adalah sampah yang diperoleh dari kegiatan sampling selama 8 hari berturut-turut yang digunakan untuk keperluan analisa timbulan, komposisi dan densitas di TPA Ngipik.

http://digilib.uinsby.ac.id/http://digilib.uinsby.ac.id/http://digilib.uinsby.ac.id/

3.6 Langkah Kerja Penelitian

3.6.1 Pengambilan Data

a. Data Timbulan Sampah

Timbulan sampah di TPA Ngipik diperoleh melalui pengukuran sampah yang masuk di TPA Ngipik menggunakan metode *weight-volume analysis*. Metode ini dapat digunakan apabila di TPA terdapat jembatan timbang maka jumlah sampah yang masuk dapat dihitung dengan mudah. Timbulan sampah masuk di TPA Ngipik diperoleh dari data penimbangan. Rumus yang digunakan untuk mencari jumlah timbulan sampah di sebuah kota menurut (Yusril, 2020) dapat menggunakan rumus:

$$T = \frac{Mt}{Fp \times Pt \times 365hari}$$

Rumus 3. 1

Keterangan:

Mt = Berat sampah masuk ke TPA (kg)
T = Timbulan sampah rata-rata (kg/hari)
Pt = Jumlah Penduduk tahun ke-t (jiwa)
Fp = Faktor pelayanan

b. Data Densitas Sampah

Pengukuran densitas sampah dilakukan dengan menggunakan kotak densitas berkapasitas 500 L yang terbuat dari kayu, sampah diambil kemudian dituangkan ke dalam kotak berukuran 500 L, kemudian dihentakkan ke tanah sebanyak 3 kali setelah dilakukan pengangkatan kotak setinggi 20 cm guna memadatkan sampah. Data densitas sampah didapatkan dari perhitungan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$densitas\ sampah = \frac{berat\ sampah\ (kg)}{volume\ sampah\ (m^3)}$$

Rumus 3. 2

http://digilib.uinsby.ac.id/http://digilib.uinsby.ac.id/http://digilib.uinsby.ac.id/

Volume sampah dapat ditentukan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$volume\ sampah = luas\ kotak \times tinggi\ kotak$$ **Rumus 3. 3**

c. Data Komposisi Sampah

Pengukuran komposisi sampah dilakukan sesuai dengan panduan SNI 19-3964-1994. Sampah yang dibutuhkan dalam sekali sampling berjumlah 100 kg. Pengambilan sampel sampah dilakukan pada saat truk *unloading* muatan sampah kemudian sampah dicampur menjadi satu dan dilakukan proses sampling komposisi sampah. Selanjutnya sampah dipisahkan berdasarkan komposisi sampah menurut IPCC GL, 2006 yakni:

1. Sampah Makanan
2. Sampah Kebun
3. Kertas & Kardus
4. Karet dan Kulit
5. Kayu
6. Logam
7. Kaca
8. Kain/Tekstil
9. Nappies
10. Plastik
11. Sampah Lain2

UIN SUNAN AMPEL
S U R A B A Y A

Nilai default DOC berdasarkan masing-masing komposisi sampah dapat dilihat pada **Tabel 3.3** dibawah ini:

Tabel 3. 3 Nilai Default DOC

Komposisi	**DOC (%)**	
	Default	Rentang
Sisa makanan	15	8-20

http://digilib.uinsby.ac.id/http://digilib.uinsby.ac.id/http://digilib.uinsby.ac.id/

Daun/tanaman	20	18-22
Kayu	43	39-46
Plastik	-	-
Kertas	40	36-45
Logam	-	-
Karet/Kulit	39	39
Kaca/Gelas	-	-
Tekstil	24	20-40
Nappies/Popok	24	18-32
Lain-Lain	-	-

(Sumber: Data Default IPCC 2006)

3.7 Analisis Data

3.7.1 Analisis Data Proyeksi Penduduk

Proyeksi penduduk digunakan untuk memproyeksikan jumlah timbulan sampah di Kabupaten Gresik pada tahun 2023 – 2032 berdasarkan data jumlah penduduk Kabupaten Gresik 10 tahun terakhir (2013-2022). Proyeksi penduduk dapat dilakukan dengan tiga metode menurut (Badan Pusat Statistik, 2010) adalah:

a. Metode Aritmatika

$$P_t = P_0(1 + \mathrm{r}t) \quad \text{dengan} \quad r = \frac{1}{t}\left(\frac{P_t}{P_0} - 1\right) \qquad \textbf{Rumus 3. 4}$$

Keterangan:
Pt = total penduduk pada tahun yang diinginkan
P0 = total penduduk pada tahun dasar
r = laju pertumbuhan penduduk
t = rentang waktu dari tahun dasar hingga tahun ke yang diinginkan (dalam tahun).

b. Metode Geometri

$$P_t = P_0(1 + \mathrm{r})^t \quad \text{dengan} \quad r = \left(\frac{P_t}{P_0}\right)^{\frac{1}{t}} - 1 \qquad \textbf{Rumus 3. 5}$$

Keterangan:
Pt = total penduduk pada tahun t
P0 = total penduduk pada tahun dasar
r = laju pertumbuhan penduduk
t = Rentang waktu dari tahun dasar hingga tahun ke t

UIN SUNAN AMPEL
S U R A B A Y A
http://digilib.uinsby.ac.id/http://digilib.uinsby.ac.id/http://digilib.uinsby.ac.id/

c. Metode Eksponensial

$P_t = P_0 e^{rt}$ dengan $r = \frac{1}{t} ln\left(\frac{P_t}{P_0}\right)$ **Rumus 3. 6**

Keterangan:

Pt	=	total penduduk pada tahun t
P0	=	total penduduk pada tahun awal
r	=	laju pertumbuhan penduduk
t	=	Rentang waktu dari tahun awal hingga tahun ke t
e	=	2,7182818 (ln)

Dari hasil perhitungan penduduk berdasarkan tiga metode diatas dipilih metode yang hasil korelasinya mendekati angka 1.

3.7.2 Analisis Perkiraan Masa Layanan TPA

Menurut (Rahmi dkk., 2017) untuk menentukan perkiraan usia lahan yang digunakan untuk menimbun sampah di TPA dapat dihitung berdasarkan rumus sebagai berikut:

a. Kapasitas landfill

Kapasitas lahan untuk menampung sampah dapat dihitung dengan rumus dibawah ini:

Volume lahan TPA = Luas landfill × Tinggi timbunan **Rumus 3. 7**

b. Perhitungan Sisa Luas Lahan (tahun ke-n)

Sisa luas lahan yang digunakan untuk digunakan sebagai tempat menampung sampah dapat dihitung menggunakan rumus dibawah ini:

Luas sisa lahan = Kapasitas landfill × Total volume tahun ke-n s.d tahun ke-n **Rumus 3. 8**

c. Perhitungan Masa Layanan (tahun ke-n)

Masa layanan TPA (tahun ke-n) dapat dihitung dengan rumus dibawah ini:

UIN SUNAN AMPEL
S U R A B A Y A
http://digilib.uinsby.ac.id/http://digilib.uinsby.ac.id/http://digilib.uinsby.ac.id/

$$\text{Masa layanan TPA} = \frac{sisa\ lahan\ setelah\ tahun\ ke-n}{volume\ sampah\ per-bulan\ pada\ tahun\ ke-n}$$ **Rumus 3. 9**

Hasil perhitungan menggunakan rumus diatas kemudian dibandingkan dengan data penentuan layanan dari UPT TPA Ngipik, Gresik. Data timbulan sampah yang masuk ke TPA Ngipik didapatkan dari metode *weight count analysis* dimana metode tersebut dapat digunakan jika di suatu TPA terdapat jembatan timbang, serta faktor kompaksi atau pemadatan sampah oleh alat berat di TPA Ngipik.

3.7.3 Analisis Data LandGEM

Analisis produksi metana dilakukan pada keseluruhan area landfill TPA Ngipik Kabupaten Gresik berdasarkan total sampah masuk tahunan, dan mengestimasikan jumlah emisi gas metana di area TPA Ngipik. Analisa menggunakan *spreadsheet* LandGEM untuk keperluan analisis dispersi gas. Parameter yang digunakan merupakan parameter standar yang telah disediakan oleh LandGEM dan disesuaikan dengan kondisi penelitian. Data yang diperlukan untuk analisis jumlah emisi gas metana di *software* LandGEM adalah:

a. Data tahun dibukanya TPA.
b. Data tahun ditutupnya TPA.
c. Data jumlah sampah yang masuk dari awal tahun dibukanya TPA hingga jumlah sampah pada tahun ditutupnya TPA.

3.7.4 Validasi Menggunakan Model Perhitungan IPCC 2006

Analisis yang digunakan untuk validasi diperlukan untuk mengetahui apakah hasil dari pemodelan tersebut valid, metode validasi yang umum digunakan pada penelitian ini menurut (Yusril, 2020) adalah:

UIN SUNAN AMPEL
S U R A B A Y A
http://digilib.uinsby.ac.id/http://digilib.uinsby.ac.id/http://digilib.uinsby.ac.id/

a. Validasi dengan Uji Model/Replika

Metode validasi dengan uji model/replika adalah dengan membandingkan data pemodelan dengan data hasil uji di lapangan.

b. Validasi dengan Simulasi *Software* Lain

Metode validasi dengan simulasi dari *software* lain adalah dengan membandingkan data pemodelan *software* LandGEM dengan *software* yang memiliki kegunaan yang sama untuk mengukur emisi gas metana. dalam penelitian ini digunakan model perhitungan IPCC (2006) sebagai pembanding.

Langkah-langkah perhitungan Model IPCC (2006) akan digunakan untuk memvalidasi data hasil perhitungan potensi produksi gas metana menggunakan LandGEM. Hal ini bertujuan untuk mendapatkan data pembanding yang akurat. Berikut ini adalah langkah-langkah yang akan dilakukan dalam perhitungan menggunakan model IPCC (2006):

a. Menghitung DOC Sampah

Dikarenakan data mengenai DOC sampah Kabupaten Gresik belum ada maka yang digunakan dalam penelitian ini adalah data DOC default DOC per-komposisi dari IPCC.

b. Menghitung MSW Kabupaten Gresik

Data timbulan dan data MSW (Sampah Penduduk Kabupaten Gresik) dibutuhkan untuk input pada perhitungan IPCC. Rumus untuk menghitung MSW Kabupaten Gresik adalah sebagai berikut:

MSW = Timbulan sampah untuk kota sedang × jumlah penduduk × 365 hari

Rumus 3. 10

c. Rumus Menghitung Total Sampah Terurai di TPA

$$DDOC_m = W.DOC.DOC_f.MCF$$ **Rumus 3. 11**

UIN SUNAN AMPEL
S U R A B A Y A
http://digilib.uinsby.ac.id/http://digilib.uinsby.ac.id/http://digilib.uinsby.ac.id/

Keterangan:

$DDOC_m$	=	Total sampah terurai yang tertimbun di TPA
W	=	Total sampah yang tertimbun di TPA (Gg)/Ton
DOC	=	Bagian sampah mudah terurai (Gg) / (C/Gg)
DOC_f	=	Bagian sampah yang terurai secara anaerobik
MCF	=	Faktor gas metana (CH_4)

d. Rumus Menghitung Sampah yang Terurai Tiap Komposisi

$$DOC \ = DOCi \times Wi) \qquad \textbf{Rumus 3. 12}$$

Keterangan:

DOC	=	Bagian sampah mudah terurai (Gg) / (C/Gg)
DOCi	=	Nilai DOC pada komposisi sampah i (menurut default IPCC)
Wi	=	Berat Sampah pada komposisi i

e. Rumus Menghitung Emisi CH_4 setiap Komposisi Sampah

$$Lo = DDOCm \times F \times (16/12\ ) \qquad \textbf{Rumus 3. 13}$$

Keterangan:

Lo	=	Potensi Gas Metana
F	=	Fraksi terbentuknya gas metana di *landfill*
16/12	=	Rasio Berat molekul gas metana/ karbondioksida

f. Rumus Menghitung Total Emisi CH_4

$$[\Sigma x \ \ Jumlah\ CH_{4\ X.T} - R_T] \times (1 - OX) \qquad \textbf{Rumus 3. 14}$$

Keterangan:

T	=	Tahun Pembuangan Sampah
x	=	Kategori sampah atau komposisi sampah
RT	=	Pemulihan CH_4 (ton/thn), nilai bergantung pada sistem landfill dilengkapi dengan sistem pemulihan pada landfill atau tidak
Ox	=	Faktor Oksidasi pada tahun ke-T (fraksi)

UIN SUNAN AMPEL
S U R A B A Y A

http://digilib.uinsby.ac.id/http://digilib.uinsby.ac.id/http://digilib.uinsby.ac.id/

3.8 Analisis Potensi Gas Metana Menjadi Energi Listrik

Pemanfaatan gas metana berkaitan dengan kemampuan produksi gas metana sebagai sumber energi serta kemampuan cakupannya untuk dimanfaatkan sebagai salah satu sumber energi alternatif bagi masyarakat sekitar TPA. Hasil perhitungan gas metana menggunakan *software* LandGEM dikonversikan menjadi energi listrik dengan persamaan $1m^3$ gas metana setara dengan 9,39 kWh (Fahruddin, 2021).

UIN SUNAN AMPEL
S U R A B A Y A

http://digilib.uinsby.ac.id/http://digilib.uinsby.ac.id/http://digilib.uinsby.ac.id/

BAB IV
GAMBARAN UMUM

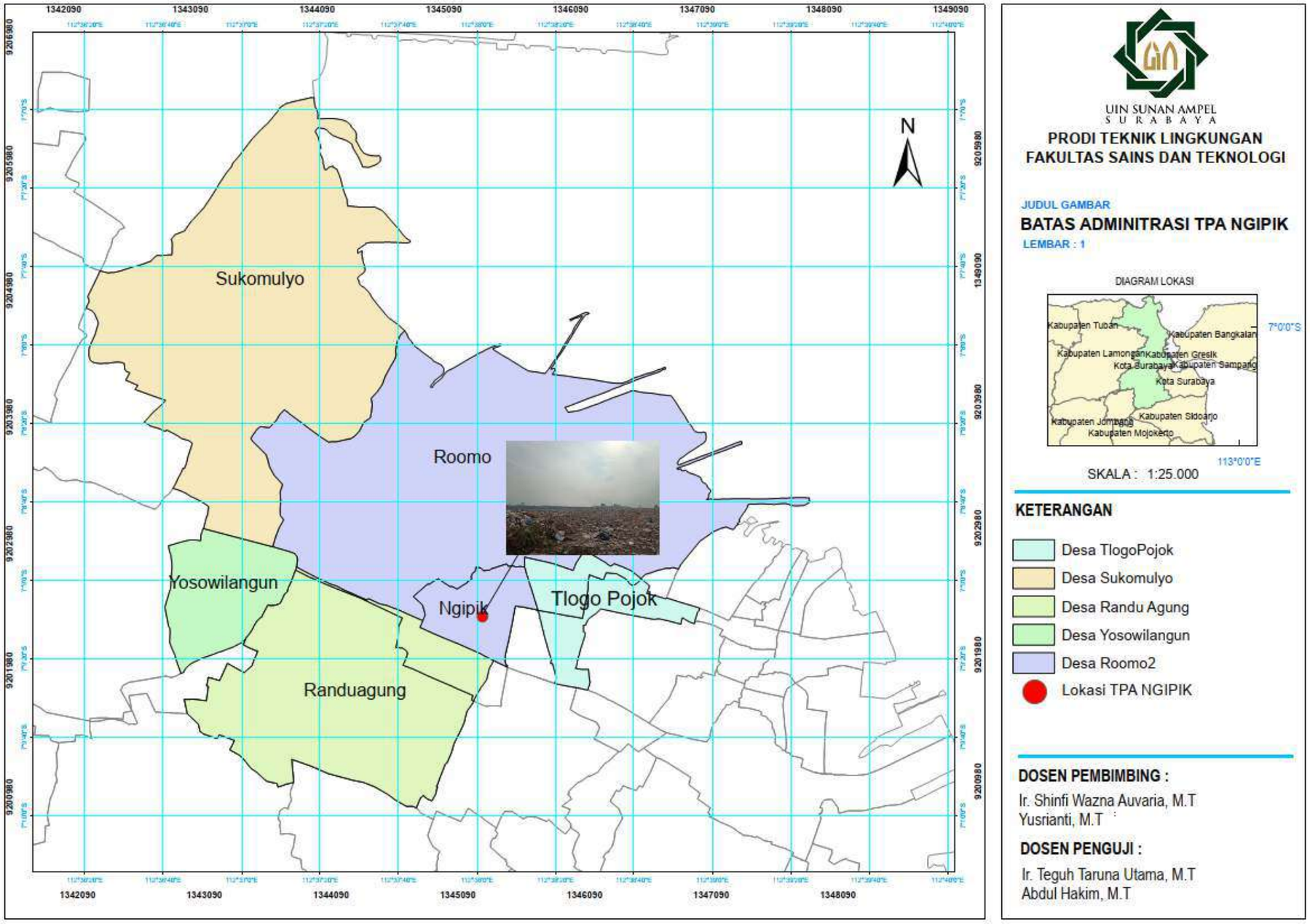
4.1 Profil TPA Ngipik

Gambar 4. 1 Kondisi Eksisting TPA Ngipik

(Sumber: Dokumentasi Pribadi, 2023)

Satu-satunya TPA yang ada di Gresik adalah TPA Ngipik. Lokasi TPA ini terletak di Desa Roomo Kecamatan Gresik, Kabupaten Gresik di bawah naungan Dinas Lingkungan Hidup Kabupaten Gresik. Lahan yang digunakan untuk menjadi TPA Ngipik merupakan lahan dari PT. Semen Indonesia Tbk, yang dipinjam oleh pemerintah Kabupaten Gresik seluas 6 Ha, kemudian pada tahun 2020 terjadi perluasan lahan sebesar 9,3 Ha yang terdiri dari 1,8 Ha untuk area sarana dan prasarana sementara sisanya 7,5 Ha digunakan untuk lahan pembuangan akhir (TPA Ngipik, 2023) . TPA Ngipik berjarak ± 3,7 km dari pusat Kota Gresik. Rencana awal TPA Ngipik dalam pengolahan sampah menggunakan metode sanitary landfill tetapi di lapangan masih menggunakan metode open dumping (Bappeda Gresik, 2016). Menurut batas Administrasi TPA Ngipik berbatasan dengan desa-desa berikut: Sebelah Utara berbatasan dengan Desa Roomo, Sebelah Selatan berbatasan dengan Desa Randu Agung, Sebelah Timur berbatasan dengan Desa Tlogo Pojok, Sebelah Barat berbatasan dengan Desa Sukomulyo. Detail lebih lanjut dapat dilihat pada **Gambar 4.2.**

http://digilib.uinsby.ac.id/http://digilib.uinsby.ac.id/http://digilib.uinsby.ac.id/



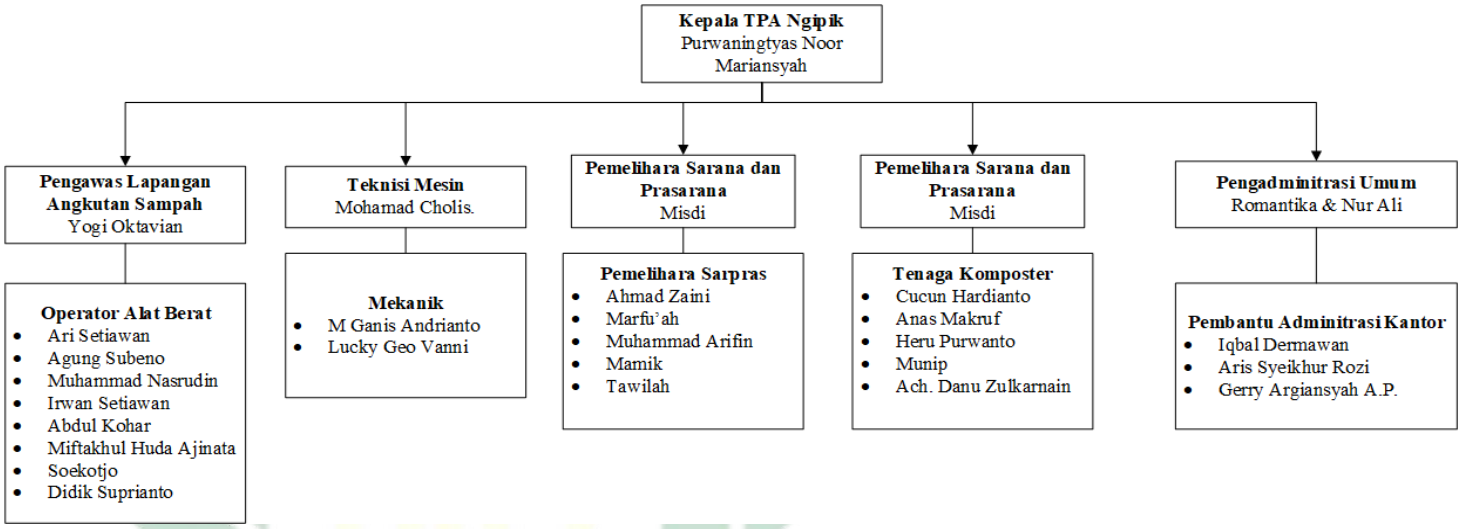
Gambar 4. 2 Batas Administrasi TPA Ngipik

(Sumber: Hasil Analisa, 2023)

http://digilib.uinsby.ac.id/http://digilib.uinsby.ac.id/http://digilib.uinsby.ac.id/

4.2 Struktur Organisasi TPA Ngipik

TPA Ngipik yang beroperasi pada pukul 08.00-16.00 WIB memiliki total pegawai sebanyak 27 orang, dengan hari kerja senin-jum'at. Dibawah ini merupakan struktur organisasi TPA Ngipik dapat dilihat pada **Gambar 4.3.**



Gambar 4. 3 Struktur Organisasi TPA Ngipik

(UPT TPA NGIPIK, 2023)

UIN SUNAN AMPEL
S U R A B A Y A

4.3 Fasilitas di TPA Ngipik

TPA Ngipik mempunyai fasilitas penunjang kegiatan pengelolaan sampah yang berbagai macam, semakin lengkap dan baik fasilitas pengelolaan sampah yang ada maka pengolahan sampah akan semakin baik. Adapun fasilitas (sarana dan prasarana) yang terdapat di TPA Ngipik adalah sebagai berikut:

Tabel 4. 1 Sarana dan Prasarana di TPA Ngipik

No	Sarana dan Prasarana	Jumlah
1.	Kantor TPA	1
2.	Pos Jaga	1
3.	Greenhouse	1
4.	Incinerator	1
5.	Mesin Pencacah Kompos	2
6.	Excavator	4 (2 baik, 2 rusak)
7.	Bengkel	1
8.	Jembatan Timbang	1
9.	Gerobak Motor Sampah	1
10.	Truk Tangki	1
11.	Dump Truk	1
12.	Begho Loader	1 (rusak)
13.	Bulldozer	3 (1 rusak, 2 baik)
14.	Pengolah Sampah Plastik jadi BBM	1
15.	IPAL	1

(Sumber: TPA Ngipik, 2023)

UIN SUNAN AMPEL
S U R A B A Y A

a. Mesin RDF

Mesin RDF merupakan teknologi pengolahan sampah plastik yang menggunakan proses homogenisasi menjadi ukuran yang lebih kecil biasanya hasil outputnya berbentuk pelet. Pelet hasil proses homogenisasi bisa dimanfaatkan sebagai sumber bahan bakar pengganti batu bara, tetapi dibutuhkan penelitian lebih lanjut agar hasil pembakaran lebih maksimal.

http://digilib.uinsby.ac.id/http://digilib.uinsby.ac.id/http://digilib.uinsby.ac.id/

Gambar 4. 4 Mesin RDF

(Sumber: Dokumentasi Pribadi, 2023)

b. Pos Jaga dan Jembatan Timbang

Fungsi Pos jaga dan jembatan timbang sebagai tempat penjagaan sekaligus untuk penimbangan truk sampah yang masuk ke TPA Ngipik dimana setiap harinya ada petugas yang mencatat jumlah sampah yang masuk ke TPA Ngipik.

Gambar 4. 5 Pos Jaga dan Jembatan Timbang

(Sumber: Dokumentasi Pribadi, 2023)

c. Kantor TPA

Kantor di TPA Ngipik berfungsi sebagai tempat untuk mengelola Administrasi yang berkaitan dengan pengelolaan sampah TPA Ngipik dan pengarsipan data.

http://digilib.uinsby.ac.id/http://digilib.uinsby.ac.id/http://digilib.uinsby.ac.id/

Gambar 4. 6 Kantor TPA Ngipik

(Sumber: Dokumentasi Pribadi, 2023)

d. Greenhouse

Greenhouse di TPA Ngipik merupakan fasilitas penunjang yang dibangun oleh DLH Gresik untuk budidaya tanaman hias yang digunakan untuk menghiasi lahan kosong di pinggiran jalan-jalan raya di Kabupaten Gresik terdapat hampir lima puluh jenis tanaman yang di budidayakan disini.

Gambar 4. 7 Greenhouse Pembibitan

(Sumber: Dokumentasi Pribadi, 2023)

e. Tempat Pengomposan

Pengomposan di TPA Ngipik dilakukan di ruangan terbuka agar sirkulasi udara dapat berjalan dengan baik, dan dilakukan pembalikan

http://digilib.uinsby.ac.id/http://digilib.uinsby.ac.id/http://digilib.uinsby.ac.id/

kompos sebanyak 5x dalam sebulan, disiram 2-3 hari sekali dengan suhu 45℃-65℃, setelah 30 hari dilakukan proses pematangan selama 15 hari, dan setelah 60 hari dilakukan proses pengepakan.

Gambar 4. 8 Tumpukan Kompos Setengah Matang

(Sumber: Dokumentasi Pribadi, 2023)

Gambar 4. 9 Kompos Matang

(Sumber: Dokumentasi Pribadi, 2023)

UIN SUNAN AMPEL
S U R A B A Y A

f. Bengkel

Bengkel/garasi di TPA Ngipik ini memiliki fungsi untuk memperbaiki dan menyimpan peralatan berat yang digunakan untuk proses pengelolaan sampah.

http://digilib.uinsby.ac.id/http://digilib.uinsby.ac.id/http://digilib.uinsby.ac.id/

Gambar 4. 10 Bengkel

(Sumber: Dokumentasi Pribadi, 2023)

g. TPST

Sampah yang masuk di TPA Ngipik sebelum dibuang ke tempat penimbunan terlebih dahulu dilakukan pemilahan berdasarkan komposisinya, untuk meminimalisir jumlah sampah yang ditimbun.

Gambar 4. 11 Proses Pemilahan Sampah di TPST

(Sumber: Dokumentasi Pribadi, 2023)

h. IPAL

Tujuan dari IPAL adalah untuk mengolah lindi agar tidak mencemari air sungai. Air lindi ini akan dikumpulkan oleh pipa pengumpul yang berada di bawah tumpukan sampah di TPA dan akan dialirkan melalui titik yang berada di elevasi 39,2 m lalu didistribusikan ke inlet pengolahan air lindi yang memiliki elevasi setinggi 39 m. IPAL di TPA

http://digilib.uinsby.ac.id/http://digilib.uinsby.ac.id/http://digilib.uinsby.ac.id/

Ngipik hanya terdapat pengolahan bak ekualisasi sebagai tempat penampungan air lindi sementara dengan luas lahan 6m2 dengan panjang 3 m dan lebar 2 m (Dinas Lingkungan Hidup Gresik, 2022) dan kolam ABR (Anaerobic Baffled Reactor) yang berada di bawah lapisan tanah dengan volume 376,6125 m^3 dengan panjang 20,75 m, lebar 5,5 m, dan kedalaman 3,3m (Jauhary, 2022).

Gambar 4. 12 IPAL di TPA Ngipik

(Sumber: Dokumentasi Pribadi, 2023)

UIN SUNAN AMPEL
S U R A B A Y A

http://digilib.uinsby.ac.id/http://digilib.uinsby.ac.id/http://digilib.uinsby.ac.id/

BAB V
HASIL DAN PEMBAHASAN

5.1 Analisa Densitas Sampah TPA Ngipik

Data densitas sampah dilakukan bersamaan dengan dilaksanakannya proses pengambilan data komposisi sampah yaitu selama 8 hari berturut-turut mulai tanggal 3 Mei 2023 - 10 Mei 2023 dengan menggunakan kotak densitas 500 L (P: 100cm, L: 50cm, dan Tinggi: 100cm) di TPA Ngipik Kabupaten Gresik. Pengukuran mengacu pada SNI-19-3964-1994 tentang Metode Pengambilan dan Pengukuran Contoh Timbulan dan Komposisi Sampah. Pengukuran dilakukan dengan cara menimbang kotak kosong terlebih dahulu untuk mengetahui berat kotak tersebut, kemudian sampah dimasukkan kedalam kotak densitas berukuran 500 L, kemudian kotak dihentakan ke tanah sebanyak 3x setinggi 20 cm. setelah itu didapatkan perhitungan densitas sampah pada **Tabel 5.1** dibawah ini**.**

UIN SUNAN AMPEL
S U R A B A Y A

http://digilib.uinsby.ac.id/http://digilib.uinsby.ac.id/http://digilib.uinsby.ac.id/

Tabel 5. 1 Densitas Sampah

hari ke-	dimensi kotak densitas			volume	volume	berat sampah	densitas
	P	L	T (sampah)	m^3	liter	kg	kg/m^3
1. Rabu (3 Mei 2023)	1	0,5	0,96	0,48	480	108,29	225,60
2. Kamis (4 Mei 2023)	1	0,5	0,86	0,43	430	105,70	245,81
3. Jumát (5 Mei 2023)	1	0,5	0,87	0,44	435	107,81	247,84
4. Sabtu (6 Mei 2023)	1	0,5	0,91	0,46	455	109,27	240,15
5. Minggu (7 Mei 2023)	1	0,5	0,88	0,44	440	108,77	247,20
6. Senin (8 Mei 2023)	1	0,5	0,86	0,43	430	106,35	247,33
7. Selasa (9 Mei 2023)	1	0,5	0,82	0,41	410	102,64	250,34
8. Rabu (10 Mei 2023)	1	0,5	0,84	0,42	420	105,89	252,12
rata-rata densitas							244,55

(Sumber: Hasil Analisa, 2023)

Menurut (Damanhuri Enri dan Tri Padmi, 2019) densitas sampah dipengaruhi oleh wadah pengumpul yang digunakan, musim, lokasi serta kondisi wilayah juga turut mempengaruhi densitas sampah di daerah tersebut. Berdasarkan perhitungan densitas pada **Tabel 5.1** didapatkan hasil densitas dengan nilai tertinggi pada hari ke-8 sebesar 252,12 kg/m^3 sedangkan untuk nilai terendah didapatkan pada hari ke-1 sebesar 225,60 kg/m^3.

UIN SUNAN AMPEL
S U R A B A Y A

5.2 Analisa Timbulan Sampah TPA Ngipik

Data timbulan sampah merupakan salah satu data yang dibutuhkan dalam analisa pemodelan menggunakan LandGEM dan IPCC untuk memprediksi potensi gas metana yang dihasilkan dari kegiatan penimbunan sampah di TPA Ngipik. Data timbulan sampah di TPA Ngipik didapatkan berdasarkan metode *weight volume analysis* dimana metode ini dapat digunakan apabila di TPA tersebut terdapat jembatan timbang (Damanhuri dan Padmi, 2010). Data timbulan sampah di TPA Ngipik diperoleh sejak tahun 2018 hingga tahun 2022. Berikut merupakan timbulan sampah masuk di TPA Ngipik pada tahun 2018 – 2022 dapat dilihat pada **Tabel 5.2.**

Tabel 5. 2 Timbulan Sampah masuk di TPA Ngipik Tahun 2018-2022

Tahun	Jumlah Penduduk	Kg/tahun	Sampah masuk (kg/hari)
2018	1.336.371	77.942.830	213.542
2019	1.298.184	63.699.460	174.519
2020	1.311.215	60.733.170	169.392
2021	1.314.895	78.555.170	215.220
2022	1.332.664	77.693.310	212.858

(Sumber: UPT TPA Ngipik, 2023)

Menurut dinas lingkungan hidup dalam Laporan Kinerja Instansi Pemerintah (LKJIP) tahun 2020 pelayanan sampah di Kabupaten Gresik hanya mencapai 58,25% dari total seluruh penduduk Kabupaten Gresik. Timbulan sampah per-hari di Kabupaten Gresik dapat dihitung setelah mengetahui jumlah penduduk yang terlayani oleh TPA Ngipik. Perhitungan mengenai data timbulan sampah per-hari sejak tahun 2018 – 2022 menggunakan **Rumus 3.1** sebagai berikut:

Timbulan sampah Kabupaten Gresik tahun 2018:

$$T = \frac{77.942.830}{58{,}25\% \times 1.336.371 \times 365 hari}$$

$$T = 0{,}274\ kg/org/hari$$

Timbulan sampah Kabupaten Gresik tahun 2019:

http://digilib.uinsby.ac.id/http://digilib.uinsby.ac.id/http://digilib.uinsby.ac.id/

$$T = \frac{63.966.460}{58{,}25\% \times 1.298.184 \times 365 hari}$$

$$T = 0{,}231\ kg/org/hari$$

Timbulan sampah Kabupaten Gresik tahun 2020:

$$T = \frac{60.733.170}{58{,}25\% \times 1.311.215 \times 365 hari}$$

$$T = 0{,}218\ kg/org/hari$$

Timbulan sampah Kabupaten Gresik tahun 2021:

$$T = \frac{78.555.170}{58{,}25\% \times 1.314.895 \times 365 hari}$$

$$T = 0{,}281\ kg/org/hari$$

Timbulan sampah Kabupaten Gresik tahun 2022:

$$T = \frac{77.693.310}{58{,}25\% \times 1.332.664 \times 365 hari}$$

$$T = 0{,}274\ kg/org/hari$$

Dari hasil perhitungan diatas menghasilkan jumlah timbulan sampah penduduk (kg/org/hari) Kabupaten Gresik dari tahun 2018 – 2022. Kemudian Data timbulan sampah tersebut di rata- rata. Untuk penjelasan lebih lanjut dapat dilihat pada **Tabel 5.3** dibawah ini:

Tabel 5. 3 Timbulan Sampah Kabupaten Gresik 2018-2022

Tahun	Timbulan Sampah Masuk ke TPA (kg/tahun)	Jumlah penduduk	Jumlah penduduk terlayani (58,25%)	Sampah masuk ke TPA (kg/hari)	Timbulan (kg/orang/hari)
2018	77.942.830	1.336.371	778.436	213.542	0,274
2019	63.699.460	1.298.184	756.192	174.519	0,231
2020	60.733.170	1.311.215	763.783	166.392	0,218
2021	78.555.170	1.314.895	765.926	215.220	0,281
2022	77.693.310	1.332.664	776.277	212.858	0,274
				Rata-rata	0,256

(Sumber: Hasil perhitungan, 2023)

http://digilib.uinsby.ac.id/http://digilib.uinsby.ac.id/http://digilib.uinsby.ac.id/

Dari Tabel 5.3 rata-rata timbulan sampah Kabupaten Gresik pada tahun 2018-2022 sebesar sebesar 0,256 kg/org/hari. Hasil rata-rata timbulan sampah di TPA Ngipik tidak sesuai menurut (Damanhuri Enri dan Tri Padmi, 2019) yaitu timbulan sampah di kota besar adalah 0,4-0,6 kg/orang/hari hal ini disebabkan karena sampah yang masuk di TPA Ngipik belum mencakup seluruh sampah penduduk yang ada di Kabupaten Gresik hal ini terjadi karena tidak semua daerah di Kabupaten Gresik dapat dijangkau oleh truk sampah sehingga cakupan pelayanan sampah di Kabupaten Gresik hanya sebesar 58,25% (Dinas Lingkungan Hidup Gresik, 2020).

5.3 Analisa Komposisi Sampah TPA Ngipik

Data komposisi sampah di TPA Ngipik didapatkan dari hasil sampling sampah yang mengacu pada SNI 19-3964-1994 selama 8 hari berturut – turut pada tanggal 3 Mei 2023- 10 Mei 2023. Tujuan sampling komposisi sampah adalah untuk mengetahui jenis sampah yang ada di TPA Ngipik Kabupaten Gresik. Sampling dilakukan pada waktu sore hari dikarenakan pada waktu sore hari sebagian besar aktivitas masyarakat sudah selesai dan sampah yang terkumpul dapat diangkut menuju ke TPA (Wahyudin dkk., 2020). Sampling yang dilakukan menggunakan kotak kayu berukuran 500 L, kemudian sampah yang baru diturunkan dari truk sampah dicampurkan dari truk yang lain agar didapatkan komposisi sampah yang bervariatif dan dari berbagai daerah di Kabupaten Gresik. Sampah yang diambil seberat ±100 kg kemudian diletakkan di banner bekas dan dipilah berdasarkan komposisi menurut IPCC 2006 maka didapatkan hasil komposisi sampah pada **Tabel 5.4** dan grafik diagram pada **Gambar 5.1.**

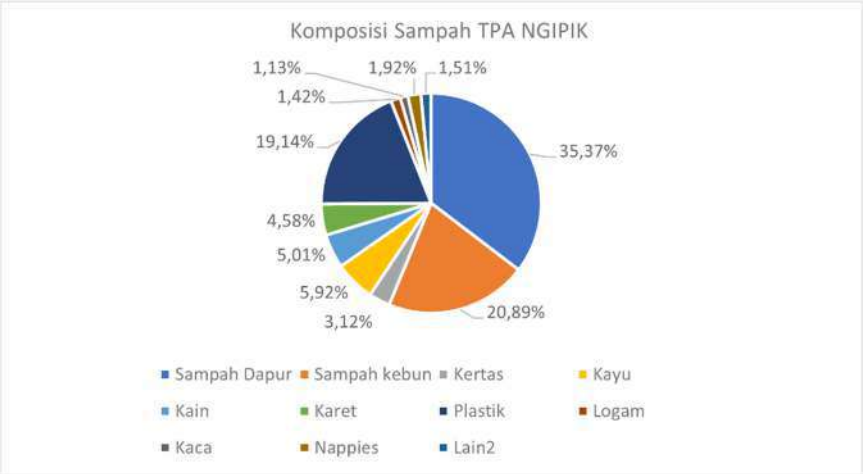
http://digilib.uinsby.ac.id/http://digilib.uinsby.ac.id/http://digilib.uinsby.ac.id/

Tabel 5. 4 Komposisi Sampah di TPA Ngipik selama 8 hari

	Komposisi (kg)											
hari ke-	Sampah Makanan	Sampah kebun	Kertas	Kayu	Kain	Karet	Plastik	Logam	Kaca	Nappies	Lain2	Total (kg)
1. Rabu (3 Mei 2023)	40,15	19,14	3,79	6,76	5,22	4,83	21,31	1,17	1,84	2,12	1,96	108,29
2. Kamis (4 Mei 2023)	38,66	21,25	3,07	5,96	5,53	4,92	20,06	1,28	1,69	1,95	1,33	105,70
3. Jumát (5 Mei 2023)	38,03	25,19	3,08	5,82	5,28	5,17	19,30	1,47	0,79	2,10	1,58	107,81
4. Sabtu (6 Mei 2023)	38,58	23,23	3,54	5,06	5,64	4,95	22,23	1,41	1,15	2,20	1,28	109,27
5. Minggu (7 Mei 2023)	37,00	22,87	3,60	6,81	5,47	5,08	21,16	1,53	1,55	2,37	1,33	108,77
6. Senin (8 Mei 2023)	34,87	23,41	3,56	6,21	5,11	4,37	21,78	1,87	0,69	2,14	2,34	106,35
7. Selasa (9 Mei 2023)	34,58	22,37	3,15	8,22	5,43	5,20	17,89	1,78	0,77	1,95	1,30	102,64
8. Rabu (10 Mei 2023)	42,34	22,18	3,06	6,10	5.77	4,87	20,87	1,69	1,25	1,66	1,87	105,89
Rata-rata	38,03	22,46	3,36	6,37	5,38	4,92	20,58	1,53	1,22	2,06	1,62	107,51
Persentase	35,37%	20,89%	3,12%	5,92%	5,01%	4,58%	19,14%	1,42%	1,13%	1,92%	1,51%	100%

(Sumber: Hasil Analisa, 2023)

UIN SUNAN AMPEL
S U R A B A Y A



Gambar 5. 1 Komposisi Sampah di TPA Ngipik

(*Sumber: Hasil Analisa, 2023)*

Dari **Tabel 5.5** dan **Gambar 5.1** diperoleh persentase komposisi sampah yang didapatkan dari rata-rata berat sampah dari setiap jenis sampah kemudian dikali dengan 100 persen, sehingga mendapatkan hasil sebagai berikut:

- Sampah Makanan = 35,37%
- Sampah Kebun = 20,89%
- Kertas dan Kardus = 3,12%
- Kayu dan Karet = 5,92%
- Kain = 5,01%
- Nappies/popok = 1,92%
- Sewage sludge = 0%
- Industrial waste = 0%
- Lain-lain = 27,78%

Keterangan; untuk sampah lain-lain merupakan gabungan dari sampah logam, karet, plastik dan sebagainya. Dari hasil sampling komposisi sampah terbesar adalah sampah makanan sebesar 35,37% dan sampah dengan persentase terendah adalah nappies/popok sebesar 1,92%. Sampah makanan merupakan sampah dengan bahan yang *biodegradeble* yang mudah membusuk seperti sampah makanan, sayur-sayuran dan buah-buahan (Sunil & Attar, 2016). Sampah organik merupakan sampah yang mendominasi di negara-negara berkembang (Hapsari, 2017).

http://digilib.uinsby.ac.id/http://digilib.uinsby.ac.id/http://digilib.uinsby.ac.id/

5.4 Analisa Proyeksi Penduduk Kabupaten Gresik

Perhitungan proyeksi penduduk dapat dilakukan menggunakan tiga metode yaitu: metode aritmatika, metode geometri, metode eksponensial (Badan Pusat Statistik, 2010). Data yang menjadi dasar dari perhitungan proyeksi merupakan data jumlah penduduk 10 tahun terakhir (2013-2022) yang didapatkan dari BPS Gresik. Setelah mengumpulkan data jumlah penduduk pada tahun 2013-2022, kemudian dilanjutkan dengan perhitungan menggunakan tiga metode yaitu: metode aritmatika, metode geometri, metode eksponensial. Dari ketiga metode tersebut dipilih metode yang menghasilkan nilai korelasi yang mendekati angka 1. Data jumlah penduduk Kabupaten Gresik 10 tahun terakhir (2013-2022) dapat dilihat pada **Tabel 5.6** dibawah ini:

Tabel 5. 5 Data Jumlah Penduduk 2013-2022

Tahun	Jumlah Penduduk (jiwa)
2013	1.324.777
2014	1.319.314
2015	1.303.773
2016	1.310.439
2017	1.313.826
2018	1.336.371
2019	1.298.184
2020	1.311.215
2021	1.314.895
2022	1.332.664

(Sumber: BPS Gresik, Tahun 2013-2022)

a. Metode Aritmatika

Nilai (r) pada metode aritmatika untuk menentukan proyeksi penduduk dapat dihitung menggunakan **Rumus 3.12.**

Proyeksi penduduk menggunakan metode aritmatika dapat dilihat pada **Tabel 5.7.**

http://digilib.uinsby.ac.id/http://digilib.uinsby.ac.id/http://digilib.uinsby.ac.id/

Tabel 5. 6 Perhitungan Aritmatika

Tahun	Jumlah Penduduk (jiwa)	r	Proyeksi Jumlah Penduduk
2013	1.324.777	0,066%	1.324.777
2014	1.319.314		1.320.187
2015	1.303.773		1.305.498
2016	1.310.439		1.313.040
2017	1.313.826		1.317.302
2018	1.336.371		1.340.791
2019	1.298.184		1.303.336
2020	1.311.215		1.311.215
2021	1.314.895		1.321.853
2022	1.332.664		1.340.598
		STDV	12.925
		KORELASI	0,977455313

(Sumber: Hasil Analisa, 2023)

b. Metode Geometri

Nilai r pada metode geometri untuk menentukan proyeksi penduduk dapat dihitung menggunakan **rumus 3.13**.

Proyeksi penduduk menggunakan metode geometri dapat dilihat pada **Tabel 5.8.**

Tabel 5. 7 Perhitungan Geometri

Tahun	Jumlah Penduduk (jiwa)	r	Proyeksi Jumlah Penduduk
2013	1.324.777	0,6%	1.324.777
2014	1.319.314		1.327.133
2015	1.303.773		1.319.273
2016	1.310.439		1.333.878
2017	1.313.826		1.345.252
2018	1.336.371		1.376.446
2019	1.298.184		1.345.039
2020	1.311.215		1.366.592
2021	1.314.895		1.378.550
2022	1.332.664		1.405.460
		STDV	28.335
		KORELASI	0,523334808

(Sumber: Hasil Analisa, 2023)

http://digilib.uinsby.ac.id/http://digilib.uinsby.ac.id/http://digilib.uinsby.ac.id/

c. Metode Eksponensial

Nilai (r) pada metode eksponensial untuk menentukan proyeksi penduduk dapat dihitung menggunakan **Rumus 3.13.**

Proyeksi penduduk menggunakan metode eksponensial dapat dilihat pada **Tabel 5.9**

Tabel 5. 8 Perhitungan Eksponensial

Tahun	Jumlah Penduduk (jiwa)	r	Proyeksi Jumlah Penduduk
2013	1.324.777	0,066%	1.324.777
2014	1.319.314		1.320.185
2015	1.303.773		1.305.495
2016	1.310.439		1.313.036
2017	1.313.826		1.317.299
2018	1.336.371		1.340.788
2019	1.298.184		1.303.335
2020	1.311.215		1.317.286
2021	1.314.895		1.321.855
2022	1.291.518		1.340.603
		STDV	12.614
		KORELASI	0,97795749

(Sumber: Hasil Analisa, 2023)

Berdasarkan perhitungan yang menggunakan ketiga metode diatas, korelasi pada metode aritmatika sebesar 0,977455313, metode geometri menghasilkan korelasi 0,523334808, metode eksponensial menghasilkan korelasi 0,97795749. Berdasarkan hasil perhitungan metode yang menghasilkan korelasi mendekati nilai 1 adalah metode eksponensial. Oleh karena itu metode yang digunakan untuk menghitung proyeksi penduduk adalah metode eksponensial. Perhitungan proyeksi penduduk pada tahun 2023-2032 menggunakan metode eksponensial dapat dilihat sebagai berikut:

UIN SUNAN AMPEL
S U R A B A Y A

http://digilib.uinsby.ac.id/http://digilib.uinsby.ac.id/http://digilib.uinsby.ac.id/

Tabel 5. 9 Proyeksi Penduduk

PROYEKSI PENDUDUK		
TAHUN		JML PENDUDUK
2023		1.333.544
2024		1.334.424
2025		1.335.305
2026		1.336.187
2027	0,066%	1.337.069
2028		1.337.951
2029		1.338.835
2030		1.339.719
2031		1.340.603
2032		1.341.488

(Sumber: Hasil Analisa, 2023)

Tabel diatas menunjukkan proyeksi penduduk Kabupaten Gresik pada tahun 2032 adalah sebanyak 1.341.488 jiwa.

5.5 Analisa Proyeksi Timbulan Sampah

Pada penelitian ini proyeksi timbulan sampah yang ada di TPA Ngipik diperkirakan sampai dengan tahun 2032 sesuai dengan proyeksi penduduk yang direncanakan. Proyeksi timbulan sampah dihitung dengan cara mengkalikan hasil proyeksi penduduk pada tahun 2023 – 2032 dan presentase jumlah penduduk terlayani yaitu sebesar 58,25% dengan rata-rata timbulan sampah yang ada di TPA Ngipik. Perhitungan proyeksi timbulan sampah dapat dilihat dibawah ini:

UIN SUNAN AMPEL
S U R A B A Y A

Rata-rata timbulan sampah per oranga	=	0,256 kg/orang/hari
Jumlah proyeksi penduduk pada tahun 2023	=	1.333.544 jiwa
Jumlah penduduk terlayani proyeksi tahun 2023	=	776.789 jiwa
Berat timbulan proyeksi sampah masuk ke TPA tahun 2023	=	198.572 kg/hari

http://digilib.uinsby.ac.id/http://digilib.uinsby.ac.id/http://digilib.uinsby.ac.id/

Proyeksi timbulan sampai dari tahun 2023-2032 di TPA Ngipik dapat dilihat pada **Tabel 5.11.**

Tabel 5. 10 Proyeksi Timbulan Sampah Masuk TPA Ngipik 2023 - 2032

Tahun	Jumlah Penduduk	jumlah penduduk terlayani (58,25%)	Rata-rata timbulan sampah kg/jiwa/hari	Berat timbulan sampah (kg/hr)	Berat timbulan sampah (kg/thn)	ton/thn (Mg/year)
2023	1.333.544	776.789	0,256	198.572	72.478.746	72.478
2024	1.334.424	777.302	0,256	198.703	72.526.594	72.526
2025	1.335.305	777.815	0,256	198.834	72.574.474	72.574
2026	1.336.187	778.329	0,256	198.965	72.622.385	72.622
2027	1.337.069	778.843	0,256	199.097	72.670.328	72.670
2028	1.337.951	779.357	0,256	199.228	72.718.303	72.718
2029	1.338.835	779.871	0,256	199.360	72.766.309	72.766
2030	1.339.719	780.386	0,256	199.491	72.814.347	72.814
2031	1.340.603	780.901	0,256	199.623	72.862.417	72.862
2032	1.341.488	781.417	0,256	199.755	72.910.518	72.910

5.6 Analisa Perkiraan Masa Layanan TPA Ngipik

TPA Ngipik pada tahun 2003 mempunyai lahan seluas 6 Ha, kemudian pada tahun 2016 terjadi perluasan lahan sehingga menjadi 9,5 Ha (Prasetyo, 2019) dengan pembagian 7,3 Ha sebagai lahan landfill dan 1,8 Ha digunakan sebagai lahan untuk sarana dan prasarana, ketinggian timbunan sampah di TPA Ngipik mencapai 14 m pada kondisi eksisting (TPA Ngipik, 2023).

Luas lahan landfill = 7,3 Ha (73.000 m^2)

Kapasitas maksimal lahan landfill = 73.000 m^2 x 14 m

= 1.022.000 m^3

Menurut (Dinas Lingkungan Hidup Gresik, 2023) masa layanan TPA Ngipik berakhir/berhenti beroperasi pada tahun 2018 yang lalu, tetapi dikarenakan terkendala tempat untuk relokasi akhirnya TPA Ngipik sampai sekarang masih beroperasi.

http://digilib.uinsby.ac.id/http://digilib.uinsby.ac.id/http://digilib.uinsby.ac.id/

Berikut merupakan hasil perhitungan sisa masa layanan TPA Ngipik berdasarkan kondisi eksisting:

a. Menghitung sisa luas lahan

Luas sisa lahan = kapasitas landfill – total volume sampah tahun 2002 s.d 2022

= 1.022.000 m^3 – 1.732.410 m^3

= -710.410 m^3

b. Menghitung masa layanan tahun 2023

$$\text{Masa Layanan TPA} = \frac{sisa\ lahan\ setelah\ tahun\ 2022}{volume\ sampah\ pada\ tahun\ 2023}$$

$$= \frac{-710.410\ m^3}{7.245 m^3/bulan}$$

= − 98 bulan

Berdasarkan hasil perhitungan dengan menggunakan data kapasitas landfill dan jumlah timbulan sampah/tahun diatas dapat dilihat bahwa masa layanan TPA Ngipik sudah habis pada tahun 2015 (98 bulan dari tahun 2023). Akan tetapi TPA Ngipik masih beroperasi hingga sekarang, dikarenakan terkendala lahan untuk relokasi ke tempat baru (TPA Ngipik, 2023).

5.7 Analisa Potensi Gas Metana dengan LandGEM

Proses analisa menggunakan LandGEM untuk melakukan analisa jumlah gas metana dari kegiatan penimbunan sampah di TPA Ngipik memerlukan data timbulan sampah ton/tahun (Mg/Tahun) dari tahun awal (2002) TPA Ngipik beroperasi hingga tahun TPA Ngipik direncanakan ditutup (2018). Adapun data yang dimasukkan oleh peneliti adalah sebagai berikut:

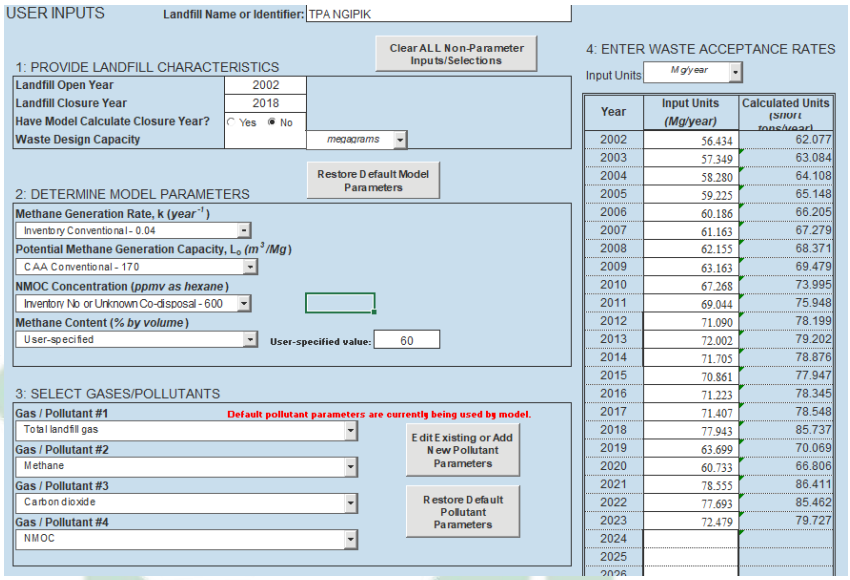
a. Methane generation rate, k (konstanta pembentukan metana) yaitu CAA Conventional (0,05) year $^{-1}$ berdasarkan US regulations untuk TPA sebagaimana diatur oleh Clean Air Act (CAA).
b. Potential methane generation capacity (kapasitas potensial pembentukan metana) yaitu, CAA Conventional 170 m^3/Mg. Nilai Lo (gas metana) tergantung pada komposisi sampah di TPA. Semakin

http://digilib.uinsby.ac.id/http://digilib.uinsby.ac.id/http://digilib.uinsby.ac.id/

tinggi tingkat selulosa (zat organik) maka semakin tinggi juga tingkat Lo. Nilai default yang digunakan LandGEM adalah representatif untuk TPA.

c. Methane content % by volume (persentase kandungan metana dalam landfill gas) yaitu diasumsikan sebanyak 60% karena komposisi gas landfill untuk metana sebanyak 45-60% (Tchobanoglous, 1993).

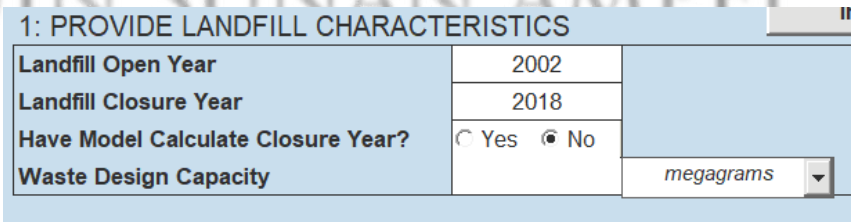
Berikut ini merupakan gambar input pada software LandGEM v3.02:



Gambar 5. 2 Hasil Input Pada Software LandGEM

(Sumber: Hasil Penelitian, 2023)

a. *Provide landfill characteristics*



Gambar 5. 3 Tampilan Menu *Profide Landfill Characteristics*

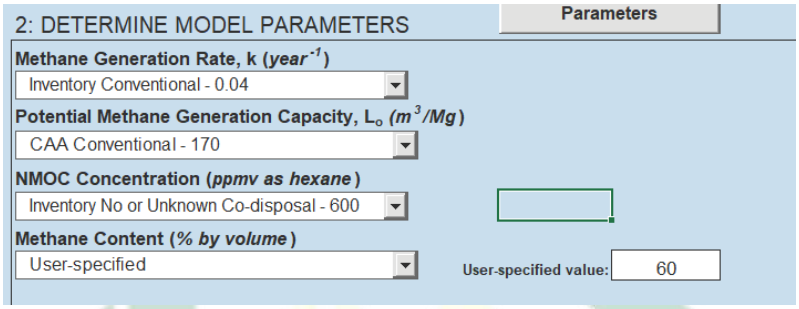
(Sumber: Hasil Penelitian, 2023)

Pada tahapan pertama untuk analisa potensi gas yang dihasilkan dari kegiatan penimbunan sampah adalah mengisi tahun dibukanya TPA (*landfill open* year) yaitu pada tahun 2002, kemudian selanjutnya pada *landfill closure year* diisi tahun ditutupnya TPA yaitu pada tahun 2018,

http://digilib.uinsby.ac.id/http://digilib.uinsby.ac.id/http://digilib.uinsby.ac.id/

karena menurut Dinas Lingkungan Hidup Kabupaten Gresik TPA Ngipik ditutup pada tahun 2018. Jika di TPA belum ada tahun diperkirakan tutup maka pilihan *have model calculate closure year* dipilih *yes* dan apabila sudah tersedia maka pilih *no* dan mengisi *waste design capacity* yaitu kapasitas maksimal dari TPA tersebut.

b. *Determine Model Parameters*



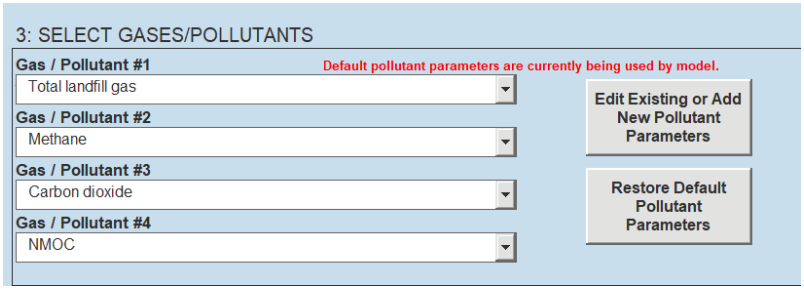
Gambar 5. 4 Tampilan Menu *Determine Model Parameters*

(Sumber: Hasil Penelitian, 2023)

Pada tahap kedua adalah menginput parameter yang akan digunakan untuk menghitung gas metana dan komponen gas landfill lainnya, seperti *methane generation rate k (year^{-1})* yang ditentukan berdasarkan kondisi wilayah, pada penelitian ini digunakan pilihan Inventory Conventional 0,04, kemudian pada pilihan *potential methane generation capacity* digunakan pilihan *CAA Conventional-170* yang nilainya tergantung pada komposisi sampah di TPA, untuk di TPA Ngipik komposisi sampah paling besar adalah sampah organik, dan NMOC *Concentration (ppmv as hexane)* menggunakan *inventory no or unknown co-disposal-600*, dan *methane content (% by volume)* menggunakan *user-specified* sebesar 60 dikarenakan kandungan gas metana pada *landfill* diperkirakan berjumlah 45 – 60% (Tchobanoglous, 1993).

http://digilib.uinsby.ac.id/http://digilib.uinsby.ac.id/http://digilib.uinsby.ac.id/

c. *Select Gases/Pollutants*



Gambar 5. 5 Menu *Select Gases/Pollutan*

(Sumber: Hasil Penelitian, 2023)

Pada tahap ketiga ini dipilih empat gas utama yang akan ditampilkan pada hasil analisa, dalam penelitian ini menggunakan *default pollutant* empat gas pada LandGEM yaitu *Total Landfill Gas, Methane, Carbon dioxide, NMOC*.

d. *Enter Waste Acceptance Rates*

4: ENTER WASTE ACCEPTANCE RATES

Input Units: *Mg/year*

Year	Input Units *(Mg/year)*	Calculated Units *(short tons/year)*
2002	56.434	62.077
2003	57.349	63.084
2004	58.280	64.108
2005	59.225	65.148
2006	60.186	66.205
2007	61.163	67.279
2008	62.155	68.371
2009	63.163	69.479
2010	67.268	73.995
2011	69.044	75.948
2012	71.090	78.199
2013	72.002	79.202
2014	71.705	78.876
2015	70.861	77.947
2016	71.223	78.345
2017	71.407	78.548
2018	77.943	85.737
2019	63.699	70.069
2020	60.733	66.806
2021	78.555	86.411
2022	77.693	85.462
2023	72.479	79.727

Gambar 5. 6 Menu *Enter Waste Acceptance Rates*

(Sumber: Hasil Penelitian, 2023)

http://digilib.uinsby.ac.id/http://digilib.uinsby.ac.id/http://digilib.uinsby.ac.id/

Pada tahap keempat adalah memasukkan data timbulan sampah yang masuk ke TPA Ngipik yaitu data pada tahun 2002-2023 dengan keterangan data sampah masuk pada tahun 2002-2017 dan 2023 diperoleh dari hasil proyeksi penduduk kemudian data pada tahun 2018-2022 diperoleh dari UPT TPA Ngipik. Penjelasan lebih lanjut dapat dilihat pada **Tabel 5.12** dibawah ini:

Tabel 5. 11 Input Waste Acceptance Rates dalam LandGEM

Year	Mg/year	Short tons/year
2002	56.434	62.077
2003	57.349	63.084
2004	58.280	64.108
2005	59.225	65.148
2006	60.186	66.205
2007	61.163	67.279
2008	62.155	68.371
2009	63.163	69.479
2010	67.268	73.995
2011	69.044	75.948
2012	71.090	78.199
2013	72.002	79.202
2014	71.705	78.876
2015	70.861	77.947
2016	71.223	78.345
2017	71.407	78.548
2018	77.943	85.737
2019	63.699	70.069
2020	60.733	66.806
2021	78.555	86.411
2022	77.693	85.462
2023	72.479	79.727
	Total	

(Sumber: Hasil Penelitian, 2023)

Satuan yang dipakai pada timbulan sampah adalah Megagram/tahun (Mg/tahun) seperti Gambar 5.6. Data hasil input sampah yang masuk dalam satuan Megagram/tahun terkonversi otomatis dalam spreadsheet dengan persamaan 1 Megagram/tahun setara dengan 1,12 short ton/tahun (Topan,

http://digilib.uinsby.ac.id/http://digilib.uinsby.ac.id/http://digilib.uinsby.ac.id/

2019). Setelah input data selesai, hasilnya akan muncul pada tab “result” dan dapat dilihat beserta grafiknya dibawah ini:

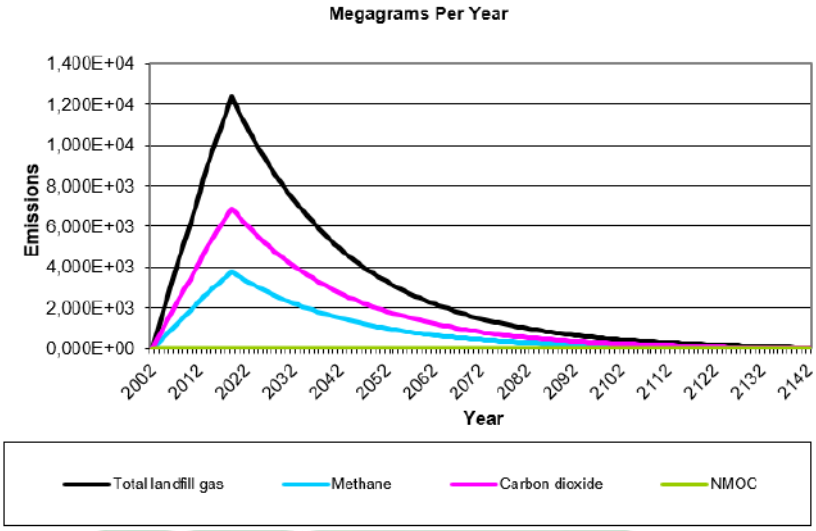
Tabel 5. 12 Hasil Perhitungan Gas Metana TPA Ngipik

Year	Mg/year	Short tons/year	Methane (Mg/year)
2002	56.434	62.077	0
2003	57.349	63.084	251,47
2004	58.280	64.108	497,15
2005	59.225	65.148	737,15
2006	60.186	66.205	972,35
2007	61.163	67.279	1.202,41
2008	62.155	68.371	1.427,80
2009	63.163	69.479	1.648,78
2010	67.268	73.995	1.865,58
2011	69.044	75.948	2.092,18
2012	71.090	78.199	2.317,80
2013	72.002	79.202	2.543,69
2014	71.705	78.876	2.764,79
2015	70.861	77.947	2.975,90
2016	71.223	78.345	3.174,97
2017	71.407	78.548	3.367,84
2018	77.943	85.737	3.553,93
2019	63.699	70.069	3.761,93
2020	60.733	66.806	3.614,43
2021	78.555	86.411	3.472,70
2022	77.693	85.462	3.336,54
2023	72.479	79.727	3.205,71
Total			48.785,34

(Sumber: Hasil Penelitian, 2023)

UIN SUNAN AMPEL
S U R A B A Y A

http://digilib.uinsby.ac.id/http://digilib.uinsby.ac.id/http://digilib.uinsby.ac.id/



Gambar 5. 7 Grafik Hasil Pemodelan LandGEM

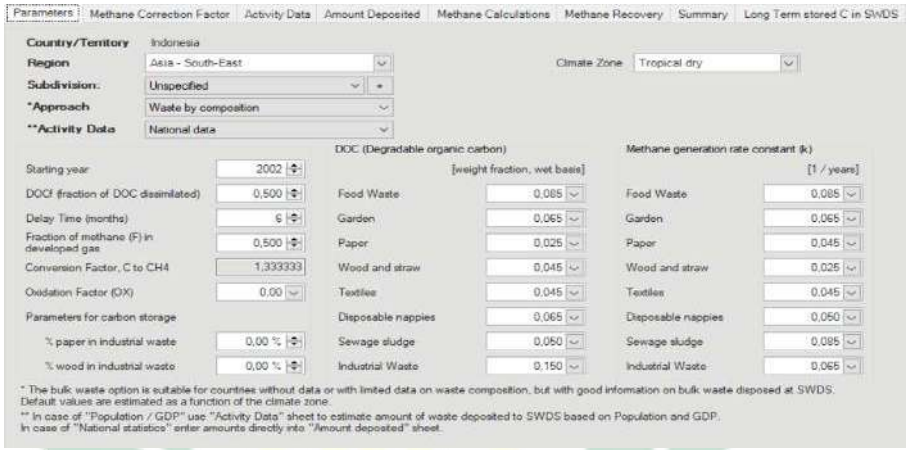
(Sumber:Hasil Penelitian, 2023)

Hasil pemodelan dengan LandGEM bertujuan untuk mengidentifikasi laju timbulan emisi gas metana dan karbondioksida di area penimbunan sampah di TPA Ngipik sehingga dapat diketahui seberapa besar potensinya untuk digunakan sebagai sumber energi alternatif pengganti fosil. Pemodelan LandGEM berupa tabel data berisi nilai besarannya dan visualisasi dalam bentuk grafik. Hasil pemodelan menunjukkan bahwa jumlah gas landfill mencapai puncak produksinya pada saat setahun setelah TPA berhenti beroperasi yaitu pada tahun 2019 dengan jumlah timbulan gas metana sebesar 3.761,93 Mg/tahun. Sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh (Rahmi dkk., 2017) dimana gas landfill yang dihasilkan oleh TPA akan menunjukkan titik puncak timbulan gas setahun setelah berakhirnya masa layanan TPA.

http://digilib.uinsby.ac.id/http://digilib.uinsby.ac.id/http://digilib.uinsby.ac.id/

5.8 Analisa Potensi Gas Metana Dengan Model IPCC Tahun 2002-2023

Pada perhitungan produksi gas metana dari kegiatan penimbunan sampah di TPA Ngipik menggunakan pemodelan IPCC data yang dimasukkan merupakan data yang penting dalam proses pemodelan. Pada sheet "parameter" data untuk pemilihan parameter sesuai dengan kondisi eksisting TPA Ngipik dan menurut (Herlintama, 2022) dapat dilihat dibawah ini:



Gambar 5. 8 Gambar Input pada Software IPCC Inventory

(Sumber: Hasil Penelitian, 2023)

a. Pemilihan wilayah atau "*region*" menyesuaikan dengan letak geografis wilayah. TPA Ngipik terletak di Kabupaten Gresik, Indonesia yang masuk ke dalam region *Asia-South East.*
b. *Approach* memiliki pengertian sebagai pendekatan yang digunakan sebagai pendekatan yang digunakan IPCC dan terbagi menjadi dua. Dalam penelitian ini digunakan *approach* berupa *waste by composting* karena adanya data spesifik untuk nilai DOC pada masing-masing komponen sampah.
c. *Activity Data* dalam hal ini menggunakan pilihan Tier 1 yaitu *national data.*
d. *Climate zone* merupakan pemilihan zona iklim untuk wilayah TPA Ngipik menggunakan zona "*tropical wet*".
e. *Starting year* dipilih tahun 2002 dikarenakan TPA Ngipik mulai beroperasi pada tahun 2002.

http://digilib.uinsby.ac.id/http://digilib.uinsby.ac.id/http://digilib.uinsby.ac.id/

f. *DOCf* yang memiliki pengertian nilai fraksi DOC terdekomposisi menggunakan nilai default dari IPCC yaitu 0,5. Ini berarti 50% dari DOCm yang tertimbun di TPA akan tetap berada disana dalam waktu yang lama.
g. *Delay time* memiliki arti periode antara proses pengendapan limbah dan waktu pembentukan CH_4 menggunakan angka default dari IPCC yaitu 6 bulan.
h. F merupakan fraksi gas metana dan dalam penelitian ini menggunakan angka dari default IPCC yaitu sebesar 0,5. Hal ini dapat diartikan bahwa sebagian besar sampah yang ada di TPA Ngipik akan menghasilkan gas metana sebanyak 50%.
i. OX merupakan faktor oksidasi yang menggunakan angka 0 karena TPA tidak memiliki penutup dari tanah ataupun dari bahan yang lain.
j. DOC merupakan nilai DOC dari masing-masing komposisi sampah yang didapatkan dari hasil perkalian antara fraksi karbon organik komponen (i) dan fraksi berat sampah komponen i.
k. K merupakan konstanta kecepatan reaksi pembentukan CH_4 yang menggunakan angka default dari IPCC untuk zona iklim *tropical wet*.
l. MCF merupakan faktor koreksi CH_4 yang menggunakan data dari default IPCC yaitu 0,8. Angka tersebut didapatkan sesuai kondisi dan jenis TPA yaitu jenis TPA yang tidak terkelola dengan baik dengan kedalaman >5m.
m. R yaitu faktor recovery CH_4 di TPA. Default untuk nilai R di negara Indonesia adalah 0.

UIN SUNAN AMPEL
S U R A B A Y A

Sampah Kabupaten Gresik yang tidak diolah melalui proses pengomposan atau daur ulang akan langsung ditimbun di landfill TPA Ngipik. Jumlah sampah yang ditimbun pada tahun 2022 menurut hasil proyeksi adalah sebesar 77.693.310 kg/tahun. Data tersebut didapatkan menggunakan metode *weight volume analysis* dimana metode tersebut menggunakan jembatan timbang sebagai alat ukurnya (Damanhuri Enri dan Tri Padmi, 2019).

Pada sheet *"amount deposited"* akan terhitung otomatis yang menghasilkan data berat sampah yang ditimbun di landfill untuk masing-masing komposisi sampah.

http://digilib.uinsby.ac.id/http://digilib.uinsby.ac.id/http://digilib.uinsby.ac.id/

Jumlah data akan sama dengan data komposisi sampah yang masuk ke TPA Ngipik dalam Gg/tahun. Data limbah *sludge* (lumpur) juga dapat dimasukkan secara terpisah disini, meski pada penelitian ini tidak ada limbah lumpur karena TPA Ngipik tidak melayani pembuangan sampah oleh industri. Pada sheet *"methane calculation"* perhitungan secara otomatis dilakukan untuk memperoleh nilai CH_4 yang terbentuk. Hasil akhir dari perhitungan ini berupa besarnya emisi gas metana di TPA akan disajikan pada sheet *"result"*. Hasil perhitungan emisi GRK dari kegiatan penimbunan sampah di TPA Ngipik dapat dilihat pada tabel dibawah ini:

	Methane generated										
Year	Food	Garden	Paper	Wood	Textile	Nappies	Sludge	Industrial	Total	Methane recovery	Methane Emissions
	A (Gg)	B (Gg)	C (Gg)	D (Gg)	E (Gg)	F (Gg)	G (Gg)	H (Gg)	I (Gg)	J (Gg)	M = (I-J) * (1-OX) (Gg)
2002	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2003	0,00014	0,00005	0	0	0,00001	0	0	0	0,00021	0	0,00021
2004	0,00028	0,0001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0	0	0,00041	0	0,00041
2005	0,0004	0,00014	0,00001	0,00001	0,00002	0,00001	0	0	0,00059	0	0,00059
2006	0,00052	0,00019	0,00001	0,00002	0,00002	0,00001	0	0	0,00077	0	0,00077
2007	0,00063	0,00023	0,00001	0,00002	0,00003	0,00002	0	0	0,00093	0	0,00093
2008	0,00073	0,00027	0,00001	0,00002	0,00003	0,00002	0	0	0,00109	0	0,00109
2009	0,00083	0,00031	0,00001	0,00003	0,00004	0,00002	0	0	0,00124	0	0,00124
2010	0,00092	0,00034	0,00002	0,00003	0,00004	0,00003	0	0	0,00138	0	0,00138
2011	0,00102	0,00038	0,00002	0,00003	0,00005	0,00003	0	0	0,00153	0	0,00153
2012	0,00111	0,00042	0,00002	0,00004	0,00005	0,00003	0	0	0,00167	0	0,00167
2013	0,0012	0,00045	0,00002	0,00004	0,00006	0,00003	0	0	0,00181	0	0,00181
2014	0,00129	0,00049	0,00002	0,00005	0,00006	0,00004	0	0	0,00194	0	0,00194
2015	0,00136	0,00052	0,00002	0,00005	0,00007	0,00004	0	0	0,00207	0	0,00207
2016	0,00143	0,00055	0,00003	0,00005	0,00007	0,00004	0	0	0,00218	0	0,00218
2017	0,0015	0,00058	0,00003	0,00006	0,00008	0,00004	0	0	0,00228	0	0,00228

Gambar 5. 9 Hasil Analisa Gas Metan di Software IPCC Inventory

(Sumber: Hasil Penelitian, 2023)

Tabel 5. 13 Tabel Gas Metana dari Kegiatan Landfilling TPA Ngipik

Tahun	Methane Emission (Gg)
2002	0
2003	0,00021
2004	0,00041
2005	0,00059
2006	0,00077
2007	0,00093
2008	0,00109
2009	0,00124
2010	0,00138
2011	0,00153
2012	0,00167
2013	0,00181
2014	0,00194
2015	0,00207
2016	0,00218
2017	0,00228
2018	0,00238

UIN SUNAN AMPEL
S U R A B A Y A

http://digilib.uinsby.ac.id/http://digilib.uinsby.ac.id/http://digilib.uinsby.ac.id/

2019	0,00255
2020	0,00265
2021	0,00272
2022	0,00287
2023	0,00301

(Sumber: Hasil Analisis, 2023)

Dari **Tabel 5.15** dapat diketahui bahwa emisi gas metana yang dihitung menggunakan model IPCC diketahui mengalami peningkatan setiap tahunnya seiring meningkatnya timbulan sampah di TPA. Peningkatan jumlah emisi ini dipengaruhi oleh komposisi sampah yang berbeda beda di tiap tahunnya, seperti yang disebutkan oleh IPCC bahwa gas metana terbentuk mulai dari bulan ke-13. Menurut (Herlintama, 2022) semakin banyak kandungan zat organik maka semakin banyak pula potensi gas metana yang dihasilkan dari sampah. Berikut merupakan detail perhitungan emisi gas metana berdasarkan komposisi dapat dilihat pada **Tabel 5.16.**

UIN SUNAN AMPEL
S U R A B A Y A

http://digilib.uinsby.ac.id/http://digilib.uinsby.ac.id/http://digilib.uinsby.ac.id/

Tabel 5. 14 Hasil Perhitungan Emisi Gas Metana pada Software IPCC Berdasarkan Komposisi sampah

Tahun	Makanan (Gg)	Kebun (Gg)	Paper (Gg)	Wood (Gg)	Textile (Gg)	Nappies (Gg)	Sludge (Gg)	Industrial (Gg)	Total (Gg)	Methane Recovery (Gg)	Methane Emission (Gg)
2002	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2003	0,00014	0,00005	0	0	0,00001	0	0	0	0,00021	0	0,00021
2004	0,00028	0,0001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0	0	0,00041	0	0,00041
2005	0,0004	0,00014	0,00001	0,00001	0,00002	0,00001	0	0	0,00059	0	0,00059
2006	0,00052	0,00019	0,00001	0,00002	0,00002	0,00001	0	0	0,00077	0	0,00077
2007	0,00063	0,00023	0,00001	0,00002	0,00003	0,00002	0	0	0,00093	0	0,00093
2008	0,00073	0,00027	0,00001	0,00002	0,00003	0,00002	0	0	0,00109	0	0,00109
2009	0,00083	0,00031	0,00001	0,00003	0,00004	0,00002	0	0	0,00124	0	0,00124
2010	0,00092	0,00034	0,00002	0,00003	0,00004	0,00003	0	0	0,00138	0	0,00138
2011	0,00102	0,00038	0,00002	0,00003	0,00005	0,00003	0	0	0,00153	0	0,00153
2012	0,00111	0,00042	0,00002	0,00004	0,00005	0,00003	0	0	0,00167	0	0,00167
2013	0,0012	0,00045	0,00002	0,00004	0,00006	0,00003	0	0	0,00181	0	0,00181
2014	0,00129	0,00049	0,00002	0,00005	0,00006	0,00004	0	0	0,00194	0	0,00194
2015	0,00136	0,00052	0,00002	0,00005	0,00006	0,00004	0	0	0,00207	0	0,00207
2016	0,00143	0,00055	0,00003	0,00005	0,00007	0,00004	0	0	0,00218	0	0,00218
2017	0,0015	0,00058	0,00003	0,00006	0,00008	0,00004	0	0	0,00228	0	0,00228
2018	0,00156	0,00061	0,00003	0,00006	0,00008	0,00005	0	0	0,00238	0	0,00238
2019	0,00167	0,00065	0,00003	0,00006	0,00009	0,00005	0	0	0,00255	0	0,00255
2020	0,00172	0,00068	0,00003	0,00007	0,00009	0,00005	0	0	0,00265	0	0,00265
2021	0,00177	0,0007	0,00003	0,00007	0,00009	0,00006	0	0	0,00272	0	0,00272
2022	0,00186	0,00074	0,00004	0,00007	0,0001	0,00006	0	0	0,00287	0	0,00287
2023	0,00195	0,00078	0,00004	0,00008	0,0001	0,00006	0	0	0,00301	0	0,00301

(Sumber: Hasil Perhitungan, 2023)

UIN SUNAN AMPEL
S U R A B A Y A

5.9 Perbandingan Perhitungan LandGEM dan IPCC

Perbandingan estimasi gas metana menggunakan LandGEM dan IPCC bertujuan untuk mengetahui apa saja gas metana pada tahun pembukaan TPA yaitu tahun 2002 dianggap 0 dikarenakan belum terjadinya reaksi anaerob pada landfill yang menyebabkan gas metana masih belum terbentuk. Penjelasan lebih lanjut dapat dilihat pada **Tabel 5.16** dibawah ini:

Tabel 5. 15 Perbandingan Estimasi Gas Metana LandGEM dan IPCC

Tahun	**Hasil Estimasi Gas Metana (Gg)**	
	LandGEM	IPCC
2002	0	0
2003	0,251	0,00021
2004	0,497	0,00041
2005	0,737	0,00059
2006	0,972	0,00077
2007	1,202	0,00093
2008	1,427	0,00109
2009	1,648	0,00124
2010	1,865	0,00138
2011	2,092	0,00153
2012	2,317	0,00167
2013	2,543	0,00181
2014	2,764	0,00194
2015	2,975	0,00207
2016	3,174	0,00218
2017	3,367	0,00228
2018	3,553	0,00238
2019	3,761	0,00255
2020	3,614	0,00265
2021	3,472	0,00272
2022	3,336	0,00287
2023	3,205	0,00301
Total	48,785	0,03628

(Sumber: Hasil Analisa, 2023)

UIN SUNAN AMPEL
S U R A B A Y A

http://digilib.uinsby.ac.id/http://digilib.uinsby.ac.id/http://digilib.uinsby.ac.id/

Dari tabel diatas tentang hasil estimasi produksi gas metana yang dihasilkan oleh kegiatan penimbunan sampah setiap tahunnya mengalami kenaikan. Kenaikan pada hasil perhitungan LandGEM dan IPCC dikarenakan jumlah timbulan sampah yang dihasilkan dan tertimbun dalam landfill semakin banyak. Perbedaan besar dari metode LandGEM dan IPCC menurut (Yulianto, 2022) yaitu dari sisi pendekatan dan perhitungan menggunakan software dimana terdapat rumus – rumus yang cukup berbeda seperti yang dijelaskan pada metode penelitian. Kesamaan LandGEM dan IPCC adalah pada *methane generation rate* dan *potential methane capacity*. Pada metode IPCC rata-rata nilai sebesar 0,21 $year^{-1}$ lebih besar dibandingkan dengan model perhitungan LandGEM yang memiliki parameter CAA default konvensional sebesar 0,05 year-1. Faktor Lo pada LandGEM untuk parameter CAA default Konvensional memiliki nilai sebesar 170 m^3/Mg sedangkan pada IPCC nilai Lo rata-ratanya diperoleh setelah perhitungan nilai DOC dan DOCf. Dari software IPCC menggunakan *methane correction factor* yang nilainya dapat ditentukan berdasarkan tipe *landfill* tersebut, dalam penelitian ini TPA Ngipik yang menggunakan sistem *open dumping* memiliki nilai 0,8, dan untuk *oxidation factor* dalam software IPCC bernilai 0 karena TPA Ngipik tidak memiliki penutup pada bagian timbunan sampah. Namun karena kedua hasil perhitungan memiliki perbedaan yang tinggi dapat disimpulkan bahwa perbedaan terhadap kedua metode tersebut cukup banyak sehingga menyebabkan perbedaan hasil yang cukup besar.

Tabel 5. 16 Perbandingan Hasil Perhitungan Gas Metana di TPA

Tempat Pembuangan Akhir	Metode Pengukuran			Referensi
	LandGEM	IPCC	Pengukuran Langsung	
TPA Talang Gulo	8,002 Gg/tahun	-	4,75 Mg/tahun	Sinaga dkk., 2023

http://digilib.uinsby.ac.id/http://digilib.uinsby.ac.id/http://digilib.uinsby.ac.id/

Tempat Pembuangan Akhir	Metode Pengukuran			Referensi
	LandGEM	IPCC	Pengukuran Langsung	
TPA Tamangapa	-	2,24 Gg/tahun	-	Sari, 2018
TPA Randegan	-	1,614 Gg/tahun	-	Rini dkk., 2020
TPA *Open Dumping* di Jawa Tengah	-	1.948,18 Gg (Tahun 2010-2020)	-	Prabowo dkk., 2019
TPA *Controlled Landfill* di Jawa Tengah	-	117,99 Gg (Tahun 2010-2020)	-	Prabowo dkk., 2019

Dalam penelitian (Sinaga dkk., 2023) analisa potensi gas metana di TPA Talang Gulo menggunakan *software* LandGEM mendapatkan hasil gas metana (CH_4) sebesar 8,002 Gg/tahun dan pengukuran secara langsung menggunakan fluks metana dengan teknik *close chamber* sebesar 4,75 Mg/tahun, perbedaan hasil yang besar ini dipengaruhi oleh karakteristik permukaan TPA dan juga kadar air dalam sampah. Penelitian yang dilakukan oleh (Sari, 2018) di TPA Tamangapa menggunakan metode perhitungan IPCC 2006 mendapatkan nilai potensi gas metana (CH_4) sebesar 2,24 Gg/tahun, sedangkan penelitian yang dilakukan oleh (Rini dkk., 2020) TPA Randegan, Mojokerto estimasi gas metana (CH_4) yang dihasilkan dari sampah sebesar 1,35 Gg/tahun dari sampah rumah tangga dan 0,264 Gg/tahun dari sampah *non* domestik. Sedangkan penelitian estimasi gas metana pada TPA yang ada di Provinsi Jawa Tengah yang terdiri dari 9 TPA bersistem *controlled landfill* dan 48 TPA dengan sistem *open dumping* dilakukan oleh (Prabowo dkk., 2019) mendapatkan total hasil gas metana (CH_4) pada 9 TPA bertipe *controlled landfill* pada tahun 2010-2020 sebesar 117,99 Gg dan untuk 48 TPA *open dumping* sebesar 1.948,18 Gg.

Berdasarkan perhitungan ini, perbandingan antara LandGEM dan IPCC dapat dianggap Salid karena keduanya menunjukkan peningkatan

http://digilib.uinsby.ac.id/http://digilib.uinsby.ac.id/http://digilib.uinsby.ac.id/

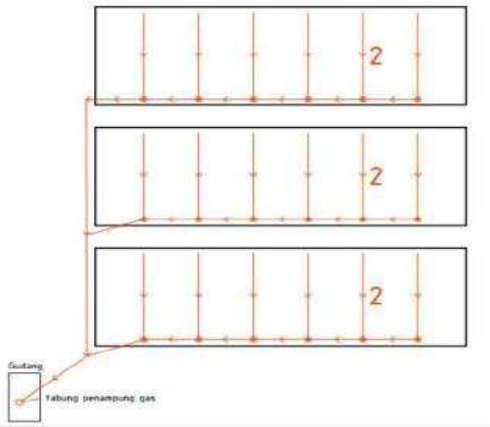
perkiraan jumlah gas metana yang dihasilkan setiap tahunnya, meskipun dengan selisih yang cukup besar. Meskipun kedua metode ini memiliki metode perhitungan yang berbeda tetapi kedua model perhitungan tersebut memiliki kegunaan yang sama yaitu menganalisis jumlah gas metana pada tempat pembuangan sampah (TPA).

5.10 Analisa Potensi Pemanfaatan Gas Metana

Penimbunan sampah menghasilkan gas metana dari proses dekomposisi zat organik yang tidak boleh dilepaskan secara langsung ke alam karena dapat membahayakan alam sekitar dan masyarakat, gas metana yang dihasilkan harus dikelola dengan baik agar dapat bermanfaat dan menjadi nilai tambah. Salah satu pemanfaatan gas metana adalah dengan mengkonversinya menjadi energi listrik.

Gas metana yang ada di dalam timbunan sampah tidak bisa dipanen secara langsung, tetapi timbunan sampah harus mempunyai lapisan pengaman atau *geo membran* pada bagian bawah agar tidak mencemari tanah atau air tanah di sekitar TPA, dan sampah yang ditimbun per hari atau seminggu sekali harus ditutup menggunakan tanah setinggi 7-15 cm, tujuan timbunan sampah ditutup menggunakan tanah adalah agar terjadi proses anaerobik pada sampah yang menghasilkan gas metana dan karbondioksida dengan jumlah paling besar dengan kandungan nitrogen, oksigen, dan *non methane organic compounds* (NMOCs) lebih sedikit dan mencegah gas metana tidak keluar secara langsung ke udara (Jaisyullah, 2017). Pipa yang digunakan untuk memanen gas metana dipasang secara vertikal dan horizontal pipa tersebut terhubung ke pompa yang digunakan untuk menyedot gas metana dari dalam timbunan sampah dengan jarak antar pipa sebesar 10 m dan kedalaman minimal pipa terpasang adalah 75% dari total kedalaman timbunan sampah (Tchobanoglous, 1993).

http://digilib.uinsby.ac.id/http://digilib.uinsby.ac.id/http://digilib.uinsby.ac.id/

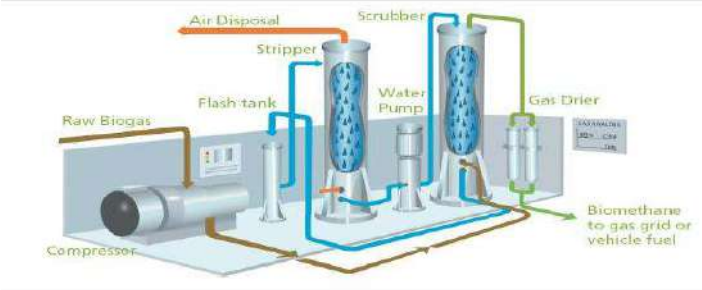


Gambar 5. 10 Contoh Penempatan Pipa dalam Timbunan Sampah di TPA Randu Agung

(Sumber: Samin dan Rijalurrahman, 2017)

Gas metana yang diambil dari penimbunan sampah melalui pipa masih mengandung beberapa unsur gas lain, antara lain nitrogen dan sulfur, gas-gas ini kemudian dimurnikan terlebih dahulu agar mendapatkan tingkat kemurnian yang bagus dan dapat digunakan sebagai sumber energi untuk menghasilkan listrik. Proses pemurnian ini disebut dengan proses purifikasi, proses purifikasi yang digunakan pada penelitian Jaisyullah (2017) dan Sahwan dkk (2019) adalah metode *water scrubber* yang merupakan metode pemurnian yang mengandalkan air sebagai medianya. Gas metana dimasukkan kedalam reaktor yang kemudian disemprot dengan air bertekanan, bersamaan dengan itu karbondioksida, nitrogen dan oksigen akan larut dengan air sedangkan gas metana yang memiliki nilai pengenceran lebih kecil akan melewati air dan menjadi gas metana murni dengan tingkat kemurnian mencapai 80% bahkan dalam penelitian *pilot project* yang dilakukan di Finlandia dengan menggunakan metode *wet scrubber* berhasil meningkatkan kandungan gas metana di TPA yang semula hanya 50,8% - 57,9% menjadi 80,4 - 90,2% (Läntelä et al., 2012).

http://digilib.uinsby.ac.id/http://digilib.uinsby.ac.id/http://digilib.uinsby.ac.id/



Gambar 5. 11 Teknologi *Wet Scrubber*

(Sumber: Jaisyullah, 2017)

5.11 Analisa Gas Metana Menjadi Listrik

Penelitian yang dilakukan oleh US EPA (2015) mendapatkan hasil bahwa 1 juta ton sampah dapat dikonversikan menjadi 0,8 Megawatt listrik. Berdasarkan **Tabel 5.11** tentang proyeksi timbulan sampah di TPA Ngipik, maka dapat dihitung besaran jumlah energi listrik yang dapat dikonversikan dari sampah. Hasil konversi gas metana menjadi listrik dapat dilihat pada **Tabel 5.17.** berikut merupakan perhitungan konversi gas metana menjadi listrik pada tahun 2023:

Jumlah sampah tahun 2023 = 72.478.746 kg (72.478 Mg)

Perhitungan konversi sampah jadi listrik:

$$= \frac{\text{jumlah sampah tahun 2023 (ton)}}{1.000.000\ ton} \times 0{,}8\ \text{MW}$$

$$= \frac{72.479}{1.000.000\ ton} \times 0{,}8\ \text{MW}$$

= 0,0580 Megawattt Listrik

UIN SUNAN AMPEL
S U R A B A Y A

Tabel 5. 17 Tabel Konversi Menjadi Listrik berdasarkan EPA

Tahun	Jumlah sampah (ton/tahun)	Konversi menjadi listrik (MegaWatt)
2023	72.479	0,0580
2024	72.527	0,0580
2025	72.574	0,0581
2026	72.622	0,0581

http://digilib.uinsby.ac.id/http://digilib.uinsby.ac.id/http://digilib.uinsby.ac.id/

2027	72.670	0,0581
2028	72.718	0,0582
2029	72.766	0,0582
2030	72.814	0,0583
2031	72.862	0,0583
2032	72.911	0,0583
Total Potensi Listrik		4,773

(Sumber:Hasil Analisa, 2023)

Perhitungan dilakukan dari tahun pertama hingga tahun ke 10 dan jumlah keseluruhan potensi listrik yang didapatkan adalah 4,7 MegaWatt. Jumlah potensi listrik dipengaruhi oleh kuantitas sampah yang masuk ke TPA.

Dalam penelitian Jaisyullah, (2017) Rumus perhitungan energi listrik dari gas metana adalah sebagai berikut:

$$Pg = \frac{Qt \times Ho}{3600}$$

Keterangan:

Pg = Daya yang dihasilkan (kW)

Qt = Produksi gas LFG (m^3/jam)

Ho = Nilai kalor LFG (kJ/m^3)

Produksi gas metana pada perhitungan ini adalah menggunakan hasil perhitungan LandGEM-v302 *default* inventory konvensional. Nilai kalor mengacu pada penelitian (Yusril, 2020) yaitu sebesar 16.785 kJ/m^3 hingga 20.495 kJ/m^3. Qt (produksi gas LFG) yang dihasilkan pada *landfill* dalam satuan m^3/jam didapatkan dari hasil analisa yang didapatkan pada tab *"result"* LandGEM.

Tabel 5. 18 Hasil *Result Software* LandGEM

Year	**mg/year**	**Short tons/year**	**Jumlah Gas Metana**	
			m^3/year	**mg/year**
2002	56.434	62.077	0	0
2003	57.349	63.084	376.930,35	251,47

http://digilib.uinsby.ac.id/http://digilib.uinsby.ac.id/http://digilib.uinsby.ac.id/

2004	58.280	64.108	745.192,46	497,15
2005	59.225	65.148	1.105.233,08	737,35
2006	60.186	66.205	1.457.468,09	972,35
2007	61.163	67.279	1.802.310,42	1.202,41
2008	62.155	68.371	2.140.156,80	1.427,80
2009	63.163	69.479	2.471.381,74	1.648,78
2010	67.268	73.995	2.796.351,73	1.865,58
2011	69.044	75.948	3.135.997,32	2.092,18
2012	71.090	78.199	3.474.187,36	2.317,80
2013	72.002	79.202	3.812.782,29	2.543,69
2014	71.705	78.876	4.144.192,10	2.764,79
2015	70.861	77.947	4.460.623,43	2.975,90
2016	71.223	78.345	4.759.010,13	3.174,97
2017	71.407	78.548	5.048.114,77	3.367,84
2018	77.943	85.737	5.327.112,41	3.553,97
2019	63.699	70.069	5.638.825,22	3.761,93
2020	60.733	66.806	5.417.723,73	3.614,43
2021	78.555	86.411	5.205.291,74	3.472,70
2022	77.693	85.462	5.001.189,33	3.336,54
2023	72.479	79.727	4.805.089,89	3.205,71
Total			73.135.164,26	48.785,35

(Sumber: Hasil Analisa, 2023)

Satuan m^3/tahun dikonversi menjadi m^3/jam dimana sebagai contoh pada tahun 2019 terdapat emisi gas metana sebanyak 5.638.825,22 m^3/tahun dan jika dikonversikan menjadi 643,7 m^3/jam. Perhitungan konversi gas metana menjadi listrik pada tahun 2023 adalah sebagai berikut:

$$Pg = \frac{Qt \times Ho}{3600}$$

$$\text{Pg tahun 2023} = \frac{643{,}7 \times 16.785}{3600}$$

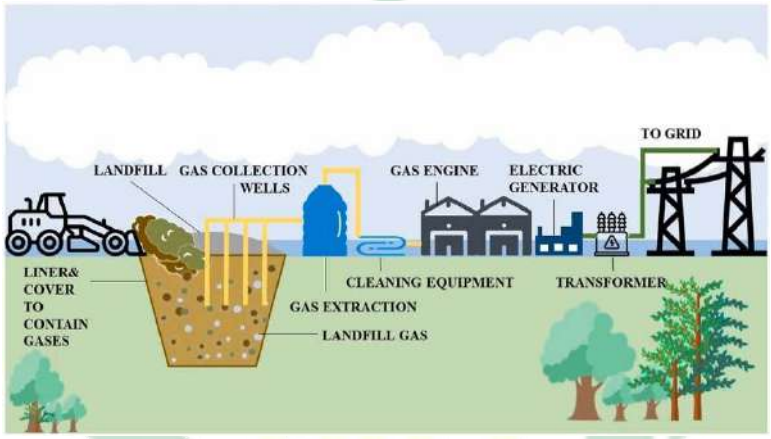
$$= 3.001 \text{ kW}$$

$$= 3{,}00 \text{ megaWatt Listrik}$$

Berikut merupakan tabel hasil konversi gas metana menjadi listrik dapat dilihat pada **Tabel 5.19** yang direncanakan menggunakan *internal combustion engine* yang memiliki kapasitas pengolahan gas sebesar 0,8-3 MegaWatt, namun teknologi ini memiliki kekurangan yaitu tingkat kebisingan yang dihasilkan cenderung tinggi yaitu sekitas 80-110 dB (Narayanan & Bade Shrestha, 2007). Sementara menurut

http://digilib.uinsby.ac.id/http://digilib.uinsby.ac.id/http://digilib.uinsby.ac.id/

Permenkes RI No. 70 Tahun 2016 Nilai Ambang Batas (NAB) kebisingan di lingkungan kerja maksimal sebesar 85 dB dengan lama paparan 8 jam tentunya dibutuhkan ruangan khusus untuk meredam kebisingan dari mesin tersebut. Menurut kapasitas minimal pengolahan gas mesin yaitu 0,8 MW mesin ini dapat digunakan sejak tahun 2007. Teknologi *enclosed flaring* dibutuhkan untuk menjaga panas yang dihasilkan tetap berada dalam sistem dan membuat proses pembakaran dalam suhu yang optimal.



Gambar 5. 12 Skema *Landfill Gas to Electricity*

(Sumber: Kurniawan et al., 2022)

Perhitungan konversi gas metana dapat dilihat pada **Tabel 5.19**.

Tabel 5. 19 Konversi Gas Metana menjadi Listrik

Tahun	Emisi Gas Metana (m^3/tahun)	Potensi Listrik	
		KiloWatt	MegaWatt
2002	0	0	0
2003	376.930,35	200	0,2
2004	745.192,46	400	0,4
2005	1.105.233,08	590	0,59
2006	1.457.468,09	780	0,78
2007	1.802.310,42	960	0,96
2008	2.140.156,80	1.140	1,14
2009	2.471.381,74	1.320	1,32
2010	2.796.351,73	1.490	1,49
2011	3.135.997,32	1.670	1,67
2012	3.474.187,36	1.850	1,85

http://digilib.uinsby.ac.id/http://digilib.uinsby.ac.id/http://digilib.uinsby.ac.id/

2013	3.812.782,29	2.030	2,03
2014	4.144.192,10	2.210	2,21
2015	4.460.623,43	2.370	2,37
2016	4.759.010,13	2.530	2,53
2017	5.048.114,77	2.690	2,69
2018	5.327.112,41	2.840	2,84
2019	5.638.825,22	3.000	3,00
2020	5.417.723,73	2.880	2,88
2021	5.205.291,74	2.770	2,77
2022	5.001.189,33	2.660	2,66
2023	4.805.089,89	2.560	2,56
Total Potensi Listrik			38,94

(Sumber:Hasil Analisa, 2023)

Menurut data BPS Gresik pada tahun 2022 harga jual listrik per kWh adalah sebesar Rp. 1.122,17. Apabila estimasi jumlah gas metana dikonversikan menjadi listrik menggunakan teknologi *internal combustion engine* didapatkan daya pada tahun 2023 sebesar 2.560 KiloWatt atau 2,56 MegaWatt Listrik atau setara dengan Rp. 2.872.755.

UIN SUNAN AMPEL
S U R A B A Y A

http://digilib.uinsby.ac.id/http://digilib.uinsby.ac.id/http://digilib.uinsby.ac.id/

BAB VI
KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

Berdasarkan uraian hasil dan pembahasan diatas, didapatkan beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Berdasarkan hasil sampling di TPA Ngipik dan hasil analisis didapatkan hasil sebagai berikut: rata-rata timbulan sampah Kabupaten Gresik pada tahun 2018-2022 sebanyak 0,256 /kg/org/hari. Rata-rata densitas sampah sebesar 244,55 kg/m^3. Komposisi sampah terbesar merupakan sampah organik dengan persentase 38,03% dan persentase terkecil adalah sampah kaca dengan nilai 1,22%.
2. Hasil perhitungan estimasi produksi gas metana dari proses penimbunan sampah di TPA Ngipik pada tahun 2002 hingga tahun 2023 menggunakan model LandGEM memiliki potemsi gas sebesar 48,785 Gg/tahun sedangkan hasil dari model IPCC sebesar 0,03628 Gg/tahun.
3. Jumlah gas metana dari hasil perhitungan menggunakan pemodelan LandGEM dan IPCC yang dihasilkan dari kegiatan penimbunan sampah di TPA Ngipik dapat dimanfaatkan menjadi energi listrik dengan rencana menggunakan teknologi internal combustion engine dengan potensi daya listrik pada tahun 2023 sebesar 2.560 kW atau 2,56 MegaWatt setara dengan Rp. 2.872.755.

UIN SUNAN AMPEL
S U R A B A Y A

6.2 Saran

Beberapa saran yang dapat diberikan oleh peneliti terkait dengan penelitian ini adalah:

1. Penelitian estimasi gas metana menggunakan software akan lebih sempurna apabila TPA telah memiliki geo membran serta menanamkan pipa pada landfill dan landfill yang digunakan membentuk terasiring karena gas yang dihasilkan akan tertangkap secara menyeluruh melalui pipa dan dapat dibandingkan dengan

http://digilib.uinsby.ac.id/http://digilib.uinsby.ac.id/http://digilib.uinsby.ac.id/

pengukuran secara langsung menggunakan alat ukur spektrometer TDL di TPA Ngipik agar dapat diketahui jumlah gas metana secara langsung dan real.

2. Dalam perhitungan dengan software IPCC masih menggunakan DOC (degradable organic carbon) default untuk kawasan Asia Tenggara dari software sehingga diperlukan analisa mengenai DOC untuk kawasan Kabupaten Gresik agar keakurasian data lebih maksimal.
3. Perlu dilakukan analisa lebih lanjut mengenai pemanfaatan gas metana dari segi biaya dan perencanaannya di TPA Ngipik.

UIN SUNAN AMPEL
S U R A B A Y A

http://digilib.uinsby.ac.id/http://digilib.uinsby.ac.id/http://digilib.uinsby.ac.id/

DAFTAR PUSTAKA

Abdullah, T., Hidayat, N. R., & Sholehah, H. (2020). Potensi Kandungan Gas Metana sebagai Sumber Energi Alternatif di TPA Kebon Kongok. *Jurnal Presipitasi: Media Komunikasi dan Pengembangan Teknik Lingkungan*, *17*(3), 334–343.

Anggraini, D., Pertiwi, M. B., & Bahrin, D. (2012). Pengaruh Jenis Sampah, Komposisi Masukan dan Waktu Tinggal Terhadap Komposisi Biogas dari Sampah Organik. *Jurnal Teknik Kimia*, *18*(1), 17–23.

Arsyadi, A. Q. (2017). Identifikasi Persebaran Air Lindi di TPA Ngipik Kabupaten Gresik Dengan Menggunakan Metode Resistivitas 2D Konfigurasi Wenner-Schlumberger. *Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya*.

Azkha, N. (2006). Analisis timbulan, komposisi dan karakteristik sampah di Kota Padang. *Jurnal Kesehatan Masyarakat Andalas*, *1*(1), 14–18.

Balai Lingkungan Hidup Gresik. (2011). *Pengelolaan Sampah dan Rekomendasinya*.

RPJMD Kabupaten Gresik Tahun 2016-2021, (2016).

Caicedo-Concha, D. M., Sandoval-Cobo, J. J., Fernando, C.-Q. R., Marmolejo-Rebellón, L. F., Torres-Lozada, P., & Sonia, H. (2019). The potential of methane production using aged landfill waste in developing countries: A case of study in Colombia. *Cogent Engineering*, *6*(1), 1664862.

Chandra, S., & Ganguly, R. (2023). Assessment of landfill gases by LandGEM and energy recovery potential from municipal solid waste of Kanpur city, India. *Heliyon*, *9*(4).

Dace, E., Blumberga, D., Kuplais, G., Bozko, L., Khabdullina, Z., & Khabdullin, A. (2015). Optimization of landfill gas use in municipal solid waste landfills in Latvia. *Energy Procedia*, *72*, 293–299.

Damanhuri, E. (2008). Diktat landfilling limbah. *Institut Teknologi Bandung*.

Damanhuri, E., & Padmi, T. (2010). Pengelolaan sampah. *Diktat kuliah TL*, *3104*, 5–10.

Damanhuri Enri, & Tri Padmi. (2019). *Pengelolaan Sampah Terpadi* (2 ed.).

Deublein, D., & Steinhauser, A. (2011). *Biogas from waste and renewable resources: an introduction*. John Wiley & Sons.

Dinas Lingkungan Hidup Gresik. (2020). *Laporan Kinerja Instansi Pemerintah*.

Dinas Lingkungan Hidup Gresik. (2022). *No Title*.

Dutta, M. K., Chowdhury, C., Jana, T. K., & Mukhopadhyay, S. K. (2013). Dynamics and exchange fluxes of methane in the estuarine mangrove environment of the Sundarbans, NE coast of India. *Atmospheric Environment*, *77*, 631–639.

Fadly, N. (2014). *Menentukan Konsentrasi Naoh Sebagai Penyerap CO2 Dari Proses Pembakaran Limbah Infeksius Didalam Incinerator Metode Primary And Secondary Chamber*. Politeknik Negeri Sriwijaya.

FAHRUDDIN, A. (2021). Determinasi Kualitas LFG untuk Optimasi Pembangkit Listrik Tenaga Sampah (PLTSa) Menggunakan Fuzzy-Analytical Hierarchy Process. *Universitas Islam Sultan Agung Semarang*.

Fallahizadeh, S., Rahmatinia, M., Mohammadi, Z., Vaezzadeh, M., Tajamiri, A., & Soleimani, H. (2019). Estimation of methane gas by LandGEM model from Yasuj municipal solid waste landfill, Iran. *MethodsX*, *6*, 391–398.

http://digilib.uinsby.ac.id/http://digilib.uinsby.ac.id/http://digilib.uinsby.ac.id/

Fei, F., Wen, Z., & De Clercq, D. (2019). Spatio-temporal estimation of landfill gas energy potential: A case study in China. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *103*, 217–226.

Friesenhan, C., Agirre, I., Eltrop, L., & Arias, P. L. (2017). Streamlined life cycle analysis for assessing energy and exergy performance as well as impact on the climate for landfill gas utilization technologies. *Applied Energy*, *185*, 805–813.

Grafik Jumlah Sampah TPA Ngipik. (2022). *TPA Ngipik*.

Hapsari, D. S. A. (2017). Timbulan dan Pengumpulan Sampah Rumah Tangga di Kecamatan Sukolilo, Surabaya. *Institut Teknologi Sepuluh November*.

Hariastuti, N. P. (2013). Pemodelan Sistem Normatif Pengelolaan Sampah Kota. *Jurnal IPTEK*, *17*(1).

Harjanti, I. M., & Anggraini, P. (2020). Pengelolaan sampah di tempat pembuangan akhir (tpa) jatibarang, kota semarang. *Jurnal Planologi*, *17*(2), 185–197.

Haryono, S., & Paryatmo, W. (2015). Studi Potensi Dan Pemanfaatan Sampah Padat Perkotaan Untuk Pembangkit Listrik Di Tpa Penujah Kabupaten Tegal. *Teknobiz: Jurnal Ilmiah Program Studi Magister Teknik Mesin*, *5*(3), 121–132.

Hatuwe, N., Sari, K. E., & Meidiana, C. (2020). Potensi Produksi Gas Metana Di TPA Toisapu Kota Ambon. *Planning for Urban Region and Environment Journal (PURE)*, *9*(2), 213–220.

Herlambang, A., Sutanto, H., & Wibowo, K. (2010). Produksi gas metana dari pengolahan sampah perkotaan dengan sistem sel. *Jurnal Teknologi Lingkungan*, *11*(3), 389–399.

Herlintama, S. A. (2022). *TUGAS AKHIR Estimasi Emisi Gas Rumah Kaca Pada Pengelolaan Sampah di TPA Basirih Banjarmasin*. Universitas Lambung Mangkurat.

Imelda, I., Yuliana, S., Apriani, D., & Andaiyani, S. (2020). Pelatihan Pengelolaan Sampah Rumah Tangga dengan Metode Komposting di Desa Kerinjing, Kabupaten Ogan Ilir. *Sricommerce: Journal of Sriwijaya Community Services*, *1*(2), 107–114.

IPCC. (2006). *No Title*.

Jaisyullah, U. A. (2017). *Program Pengelolaan Emisi Gas Rumah Kaca di TPA Benowo*. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Jauhary, M. (2022). *Redesain Instalasi Pengolahan Lindi Di TPA Nngipik Kabupaten Gresik*. UIN Sunan Ampel.

Karagiannidis, A., Tsatsarelis, T., & Moussiopoulus, N. (2007). Estimation of methane potential from landfill gas of the new Hellenic sanitary landfills. *Laboratory of Heat Transfer and*.

Kaushal, A., & Sharma, M. P. (2016). Methane emission from Panki open dump site of kanpur, India. *Procedia Environmental Sciences*, *35*, 337–347.

Kementrian PU. (2014). *Penyelenggaraan Umum Tempat Pengolahan Sampah (TPS) 3R Berbasis Masyarakat Di Kawasan Permukiman*.

Khoirusyi Yusril. (2020). *Potensi Produksi Gas Metana (CH4) Dari Kegiatan Landfilling Di TPA Lempeni, Kabupaten Lumajang Dengan Permodelan LandGEM*. UIN Sunan Ampel Surabaya.

Klenowicz, Z., & Darowicki, K. (2001). Waste incinerators: Corrosion problems and construction materials-A review. *Corrosion reviews*, *19*(5–6), 467–492.

http://digilib.uinsby.ac.id/http://digilib.uinsby.ac.id/http://digilib.uinsby.ac.id/

Kurniawan, T. A., Liang, X., Singh, D., Othman, M. H. D., Goh, H. H., Gikas, P., Kern, A. O., Kusworo, T. D., & Shoqeir, J. A. (2022). Harnessing landfill gas (LFG) for electricity: A strategy to mitigate greenhouse gas (GHG) emissions in Jakarta (Indonesia). *Journal of Environmental Management*, *301*, 113882. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.113882

Kusuma, V. A., & Hasanah, B. (2020). Forecasting Potensi Energi Gas Metana menggunakan Pembangkit Listrik Tenaga Sampah (PLTSa) pada TPA Manggar kota Balikpapan. *JEECAE (Journal of Electrical, Electronics, Control, and Automotive Engineering)*, *5*(2), 17–23.

Läntelä, J., Rasi, S., Lehtinen, J., & Rintala, J. (2012). Landfill gas upgrading with pilot-scale water scrubber: Performance assessment with absorption water recycling. *Applied energy*, *92*, 307–314.

Lemieux, P., & Stewart, E. (2004). A Pilot-Scale Study of the Precursors Leading to the Formation of Mixed Bromo-Chloro Dioxins and Furans. *Environmental Engineering Science - Environ Eng Sci*, *21*, 3–9. https://doi.org/10.1089/109287504322746695

Maharani, J. (2019). *Perbandingan Tingkat Pencemaran Karbon Monoksida (CO) Di Ruas Jalan Ring Road Utara Gejayan Yogyakarta Menggunakan Pemodelan Dispersi Gauss Dan Pengukuran Langsung*.

Mahira I F. (2020). *Prediksi Kebutuhan Lahan TPA Dan Biaya Pengoperasian Alat Berat Di TPA Tegalasri Kecamatan Wlingi Kabupaten Blitar Pada Tahun 2029*.

Mardhani, A. D. (2021). *TA: Estimasi Potensi Emisi Gas Rumah Kaca Di Tempat Pemrosesan Akhir (TPA) Sarimukti Sistem Controlled Landfill*. Institut Teknologi Nasional Bandung.

Monice, M. (2018). Analisis Pemanfaatan Energi dari Pengolahan Metode Landfiil di TPA Muara Fajar Pekanbaru. *Rang Teknik Journal*, *1*(2).

Muljono, A. B., Mukti, K. B. K., & Natsir, A. (2022). Kajian Teknis dan Ekonomi Pembangkit Listrik Tenaga Sampah (PLTSa) Menggunakan Perangkat Lunak LandGEM TPA Kebon Kongok Gerung Lombok Barat. *Dielektrika*, *9*(1), 68–79.

Narayanan, G., & Bade Shrestha, S. O. (2007). Landfill gas: a fuel for IC engine applications. *Internal Combustion Engine Division Fall Technical Conference*, *48116*, 51–60.

Ngipik, T. (2023). *No Title*.

Nina, A. (2017). Pemanfaatan Gas Metana Sampah Sebagai Energi Terbarukan (Studi Kasus TPA Puwatu Kendari). *Makassar. Universitas Hasanuddin*.

Nugroho, B. (2011). Aplikasi Sistem Pendeteksi Kadar Gas Buang Kendaraan Bermotor. *Jurnal Informatika*, *11*(2), 69–77.

Prabowo, S., Pranoto, P., & Budiastuti, S. (2019). Estimasi Emisi Gas Rumah Kaca yang Dihasilkan dari Tempat Pemrosesan akhir (TPA) di Jawa Tengah. *Bioeksperimen: Jurnal Penelitian Biologi*, *5*(1), 21–33.

Prasetyo, B. D. (2019). *Perancangan Rotoary Screen Dengan Metode QFD Dan TRIZ Untuk Optimasi Mesin Pengolah Sampah Di TPA Gresik*. Universitas Internasional Semen Indonesia.

PUJIYANTI, R. A. A. (2017). *Pembuatan Pelet Kompos Dari Sampah Organik Pasar Dengan Bahan Perekat Tepung Tapioka Dan Molasses Menggunakan Bioaktivator Sridek*. Politeknik Negeri Sriwijaya.

http://digilib.uinsby.ac.id/http://digilib.uinsby.ac.id/http://digilib.uinsby.ac.id/

Putri, G. L. (2018). Kadar hidrogen sulfida dan keluhan pernapasan pada petugas di pengolahan sampah super depo sutorejo surabaya. *Jurnal Kesehatan Lingkungan*, *10*(2), 211–219.

Raharjo, S. (2015). Studi timbulan, komposisi, karakteristik, dan potensi daur ulang sampah non domestik Kabupaten Tanah Datar. *Jurnal Dampak*, *12*(1), 27–37.

Rahmi, H., Sasmita, A., & Yenie, E. (2017). Analisis Produksi Gas Metana (CH4) dan Karbon Dioksida (CO2) dari Tempat Pembuangan Akhir Kota Pekanbaru. *Jurnal Online Mahasiswa (JOM) Bidang Teknik dan Sains*, *4*(1), 1–8.

Rangga, S. (2022). *Pemodelan Penyebaran Kontaminan Lindi Di Sekitar TPA Tamangapa Menggunakan Metode Numerik = Modelling The Distribution Of Leachate Contaminans Around TPA Tamangapa Using Numerical Methods*. Universitas Hasanuddin.

Rijati, S., Intan, T., & Subekti, M. (2017). Sosialisasi daur ulang sampah sebagai upaya pengembangan eko-budaya di lingkungan Desa Sayang Jatinangor Kabupaten Sumedang. *JATI EMAS (Jurnal Aplikasi Teknik dan Pengabdian Masyarakat)*, *1*(2), 29–34.

Rini, T. S., Kusuma, M. N., Pratiknyo, Y. B., & Purwaningrum, S. W. (2020). Kajian Potensi Gas Rumah Kaca Dari Sektor Sampah di Tempat Pemrosesan Akhir Sampah (TPA) Randegan, Kota Mojokerto. *Journal of Research and Technology (JRT)*, *6*(1), 97–107.

Rizal, A. M., & Nurhayati, I. (2017). Pengolahan Limbah Bahan Berbahaya dan Beracun (B3) dengan Insinerator Tipe Reciprocating Grate Incinerator. *WAKTU: Jurnal Teknik UNIPA*, *15*(2), 21–27.

Ruslinda, Y., & Hayati, R. (2013). Analisis Karakteristik Biologi Sampah Kota Padang. *Teknika*, *20*(1).

SAAD, R. B. M. (2020). *A Feasibility Study On Turning Methane Into Landfill Gas For Energy In Ketereh*. Universiti Teknologi Malaysia.

Sahwan, F. L., Wahyono, S., Suryanto, F., & Hanif, M. (2019). Purifikasi Gas Metana (CH 4) dari TPA Sampah Menggunakan Metode Water Scrubber Purification of Landfill Methane Gas Using Water Scrubber Method. *Jurnal Teknologi Lingkungan*, *20*(2), 171–178.

Samin, S., & Rijalurrahman, M. (2017). Perencanaan Tempat Pemrosesan Akhir Sampah Dengan Menggunakan Metode Sanitary Landfill (Studi kasus: TPA Randuagung Kabupaten Malang). *Media Teknik Sipil*, *16*(2), 118–125.

Sari, A. M. (2018). *Estimasi Emisi Metana (CH4) dari TPA Tamangapa*.

Sasmita, A., Asmura, J., & Nurmaida, B. (2022). Analisis Emisi CH4 dan Potensi Energi dari Tempat Pembuangan Akhir (TPA) Muara Fajar 2 Kota Pekanbaru. *Rekayasa*, *15*(1), 64–70.

Scheutz, C., Kjeld, A., & Fredenslund, A. M. (2022). Methane emissions from Icelandic landfills–A comparison between measured and modelled emissions. *Waste Management*, *139*, 136–145.

Sinaga, F., Napitupulu, D. M. T., & Syarifuddin, H. (2023). Estimasi Produksi Gas Metana Untuk Pemanfaatan Sebagai Sumber Energi Di TPA Talang Gulo, Jambi. *Jurnal Daur Lingkungan*, *6*(1), 12–21.

Slamet, J. . (2002). Kesehatan Lingkungan. *Gajah Mada Press*.

Subkhan, A., Setyowati, D. L., & Setyaningsih, W. (2017). Kajian Emisi CO2 dari Pemanfaatan Energi Rumah Tangga di Kelurahan Candi Kota Semarang. *Geo-Image*, *6*(2), 147–157.

http://digilib.uinsby.ac.id/http://digilib.uinsby.ac.id/http://digilib.uinsby.ac.id/

Sunil, M. K. T., & Attar, D. A. C. (2016). Sustainable Solid Waste Management for Rural Area. *IOSR J. Environ. Sci. Toxicol. Food Technol*, *10*(08), 133–137.

Tamyiz, M., Hamidah, L. N., Widiyanti, A., & Rahmayanti, A. (2018). Pelatihan Pengelolaan Sampah Rumah Tangga di Desa Kedungsumur, Kecamatan Krembung, Kabupaten Sidoarjo. *Journal of Science and Social Development*, *1*(1), 16–23.

Tchobanoglous, G. (1993). *Integrated solid waste managementengineering principles and management issues* (Nomor 628 T3).

Tchobanoglous, G., & O'leary, P. (2002). Landfilling. Tchobanoglous, George, and Kreith. Frank. *Hand book of solid waste management. 2nd ed. United State of America, New York, McGraw-Hill*, 14–34.

Topan, B. (2019). Proses Pembongkaran Muatan Curah Pada PT. Harindra Mitra Sempurna Semarang. *Karya Tulis*.

US EPA. (2015). Landfill Methane Utilization. *U.S. Environmental Protection Agency, Washington, DC, USA.*

Utami, H. J. (2022). *Analisis Kadar Gas Amonia (Nh3) Terhadap Faktor Lingkungan Di Tempat Pemrosesan Akhir (Tpa) Piyungan Yogyakarta*.

Wahyudin, W., Fitriah, F., & Azwaruddin, A. (2020). Perencanaan Pengelolaan Sampah Di Pasar Dasan Agung Kota Mataram Dengan Pendekatan Reduce, Reuse Dan Recycle (3R). *Jurnal Serambi Engineering*, *5*(2).

Wibowo, A. (2013). Aplikasi IPCC Guideline 2006 Untuk Perhitungan Emisi Gas Rumah Kaca Kehutanan di Sumatera Selatan. *Jurnal Analisis Kebijakan Kehutanan*, *10*(2), 166–186.

Widianingtyas, A. (2020). *Sudokwon Landfill: Pembangkit Listrik Tenaga Sampah (PLTSa) Gas Landfill (50MW)*. Universitas Nasional.

Wunanto, E. O. (2021). *Studi Perbandingan Estimasi Emisi Gas Rumah Kaca TPA Tamangapa*. Universitas Hasanuddin.

Yu, B., Stott, P., Yu, H., & Li, X. (2013). Methane emissions and production potentials of forest swamp wetlands in the eastern great Xing'an Mountains, Northeast China. *Environmental management*, *52*, 1149–1160.

Yulianto, K. A. N. (2022). *Estimasi Emisi Gas Rumah Kaca dengan Perbandingan Metode LandGEM dan IPCC pada Landfill TPA Gunung Kupang Kota Banjarbaru*.

Yunita, K. R. (2021). Perancangan Media Video Company Profile Bank Sampah NTB Mandiri. *Jurnal SASAK: Desain Visual dan Komunikasi*, *3*(1), 37–47.

Zhang, Y., & Ding, W. (2011). Diel methane emissions in stands of Spartina alterniflora and Suaeda salsa from a coastal salt marsh. *Aquatic Botany*, *95*(4), 262–267.

Zimnoch, M., Godlowska, J., Necki, J. M., & Rozanski, K. (2010). Assessing surface fluxes of CO2 and CH4 in urban environment: a reconnaissance study in Krakow, Southern Poland. *Tellus B: Chemical and Physical Meteorology*, *62*(5), 573–580.

http://digilib.uinsby.ac.id/http://digilib.uinsby.ac.id/http://digilib.uinsby.ac.id/