

**POTENSI PRODUKSI GAS METANA (CH₄) DARI KEGIATAN
LANDFILLING DI TPA LEMPENI, KABUPATEN LUMAJANG DENGAN
PERMODELAN LANDGEM**

TUGAS AKHIR



**UIN SUNAN AMPEL
S U R A B A Y A**

Disusun Oleh:

YUSRIL KHOIRUSYI

NIM: H05215024

**PROGRAM STUDI TEKNIK LINGKUNGAN
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI SUNAN AMPEL SURABAYA
2020**

PERNYATAAN KEASLIAN

Saya yang bertanda tangan dibawah ini,

Nama : Yusril khoirusyi

NIM : H05216024

Program Studi : Teknik Lingkungan

Angkatan : 2016

Menyatakan bahwa tidak melakukan plagiat dalam penulisan tugas akhir saya berjudul “POTENSI PRODUKSI GAS METANA (CH₄) DARI KEGIATAN *LANDFILLING* DI TPA LEMPENI, KABUPATEN LUMAJANG DENGAN PERMODELAN LANDGEM” Apabila suatu saat nanti terbukti saya melakukan Tindakan plagiat, maka saya bersedia menerima sanksi yang telah ditetapkan.

Demikian pernyataan keaslian ini saya buat dengan sebenar-benarnya.

Surabaya, 29 Desember 2020

Yang Menyatakan



(Yusril Khoirusyi)

NIM. H05216024

LEMBAR PERSETUJUAN PEMBIMBING

Tugas Akhir Oleh:

NAMA : Yusril Khoirusyi

NIM : H05216024

JUDUL : POTENSI PRODUKSI GAS METANA (CH₄) DARI KEGIATAN
LANDFILLING DI TPA LEMPENI, KABUPATEN LUMAJANG
DENGAN PERMODELAN LANDGEM

Ini telah diperiksa dan disetujui untuk diujikan.

Surabaya, 29 Desember 2020

Dosen Pembimbing I



(Abdul Hakim, M. T)
NIP. 198008062014031002

Dosen Pembimbing II



(Shifni Wazna auvaria, M. T)
NIP.198603282015032001

PENGESAHAN TIM PENGUJI TUGAS AKHIR

Tugas Akhir Yusril Khoirusyi ini telah dipertahankan
di depan tim penguji tugas akhir
di Surabaya, 29 Desember 2020

Mengesahkan,
Dewan Penguji

Dosen Penguji I



(Abdul Hakim, M. T)
NIP. 198205012014032001

Dosen Penguji II



(Shifni Wazna Auvaria, M. T)
NIP.198603282015032001

Dosen Penguji III



(Teguh Taruna Utama, M. T)
NUP. 2011603319

Dosen Penguji IV



(Sarita Oktorina, M. Kes)
NIP. 198710052014032003

Mengetahui

An. Dekan Fakultas Sains dan Teknologi
Universitas Sunan Ampel Surabaya



(Yusril Khoirusyi, M. Ag)
NIP. 197312272005012003



KEMENTERIAN AGAMA
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI SUNAN AMPEL SURABAYA
PERPUSTAKAAN

Jl. Jend. A. Yani 117 Surabaya 60237 Telp. 031-8431972 Fax.031-8413300
E-Mail: perpustakaan@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 : Yusril Khoirusyi
NIM : H05216024
Fakultas/Jurusan : SAINS DAN TEKNOLOGI/ TEKNIK LINGKUNGAN
E-mail address : Yusrilkhoirusyi@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 :

POTENSI PRODUKSI GAS METANA (CH₄) DARI KEGIATAN LANDFILLING DI TPA LEMPENI, KABUPATEN LUMAJANG DENGAN PERMODELAN 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, 15 Januari 2020

Penulis

(Yusril Khoirusyi)

ABSTRAK

POTENSI PRODUKSI GAS METANA (CH₄) DARI KEGIATAN LANDFILLING DI TPA LEMPENI, KABUPATEN LUMAJANG DENGAN PERMODELAN LANDGEM

TPA Lempeni terletak di Kabupaten Lumajang dengan luas Total lahan 6,69 Ha. Menurut Dinas Lingkungan hidup pada tahun 2019, jumlah timbulan sampah di TPA lempeni sebesar 364,58 m³/hari, jumlah timbulan sampah tersebut tentunya dapat memberikan potensi gas dari hasil proses *Landfilling* di TPA. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui nilai dari Timbulan, Densitas dan Komposisi sampah di TPA Lempeni yang didapatkan melalui proses sampling, mengetahui sisa masa layanan TPA, mengestimasi potensi gas metana di TPA dan mengetahui potensi pemanfaatan gasnya. Penelitian ini menggunakan metode SNI 19-3964-1994 untuk sampling sampah dan menggunakan LandGEM dan IPCC untuk perhitungan emisi gas metana. Hasil sampling lapangan menunjukkan bahwa timbulan sampah rata-rata sebesar 0,37 Kg/org/hari atau 2,04 Liter/org/hari, nilai rata-rata densitas sebesar 181,70 kg/m³, dan persentase komposisi sampah terbesar berupa sampah makanan (36%) dan persentase terkecil sampah kertas dan tekstil (3%). Menurut RENSTRA-DLH Lumajang tahun 2018-2023 masa layanan TPA Lempeni kabupaten Lumajang sampai tahun 2025 sedangkan berdasarkan hasil perhitungan masa layanan TPA adalah tahun 2019 kurang 4,24 bulan. Hasil perhitungan dengan Model landGEM mendapatkan hasil untuk default CAA sebesar 3,17 Gg/tahun, default inventory sebesar 1,55 Gg/tahun dan untuk Model IPCC sebesar 1,44 Gg/Tahun. Pemanfaatan Gas metana di TPA Lempeni dapat dimanfaatkan sebagai energi listrik dan biogas, untuk energi listrik dari hasil konversi gas menghasilkan total daya listrik sebesar 954,974 Kilowatt atau 0,965 Megawatt yang bernilai sekitar Rp.1.393.520,64. Sedangkan untuk biogas dikelola dengan menggunakan sistem digester yang disalurkan dengan pipa dengan sistem pump untuk menyalakan kompor gas di TPA.

Kata Kunci : *Landfill*, Gas Metana, Model LandGEM, Model IPCC, Pemanfaatan

ABSTRACT

**POTENTIAL PRODUCTION OF METHANE GAS (CH₄) FROM
LANDFILLING ACTIVITIES IN LEMPENI LANDFILL, LUMAJANG
DISTRICT WITH LANDGEM MODEL**

located in Lumajang Regency with a total area of 6.69 hectares. According to the Environment Agency in 2019, the amount of waste generated in the Lempeni TPA was 364.58 m³ / day, this amount of waste can certainly provide potential gas from the landfilling process at the TPA. This study aims to determine the value of the generation, density and composition of waste obtained through the sampling process, determine the remaining service life of the landfill, estimate the potential for methane gas in the landfill and determine the potential utilization of the gas. This research uses SNI 19-3964-1994 method for waste sampling and uses LandGEM and IPCC for the calculation of methane gas emissions. The results of field sampling show that the average waste generation is 0.37 kg / person / day or 2.04 liter / person / day, the average density value is 181.70 kg /m³, and the largest percentage of waste composition is food waste. (36%) and the smallest percentage of paper and textile waste (3%). According to the Lumajang RENSTRA-DLH 2018-2023, the service period of the Lempeni MSW landfill in Lumajang Regency is until 2025 whereas based on the results of the calculation of the TPA service period is 2019 less 4.24 months. The calculation results with the landGEM model get results for the default CAA of 3,17 Gg / year, the default inventory of 1,55 Gg / year and for the IPCC Model amounting to 1,44 Gg / Year. Utilization of methane gas in Lempeni msw landfill can be used as electricity and biogas, for electrical energy from gas conversion to produce a total electrical energy of 954,974 KiloWatt or 0,965 Megawatt which is worth around Rp.1.393.520,64per year. Meanwhile, biogas is managed using a degester system which is piped with a pump system to turn on the gas stove at the landfill.

Keywords: Landfill, Methane Gas, LandGEM Model, IPCC Model, Utilization

DAFTAR ISI

PERNYATAAN KEASLIAN	ii
LEMBAR PERSETUJUAN PEMBIMBING	iii
PENGESAHAN TIM PENGUJI TUGAS AKHIR	iv
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR TABEL	xi
DAFTAR GAMBAR	xiv
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Identifikasi Masalah	3
1.3 Rumusan Masalah	3
1.4 Tujuan Penelitian.....	4
1.5 Manfaat Penelitian.....	4
1.6 Batasan Masalah.....	5
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1 Pengertian dan Klasifikasi Sampah.....	6
2.2 Komposisi, Karakteristik dan Timbulan Sampah.....	8
2.2.1 Komposisi Sampah	8
2.2.2 Karakteristik Sampah.....	11
2.2.3 Timbulan Sampah.....	17
2.3 Proses Pembentukan Gas Metana.....	19
2.3.1 Gas Metana	19
2.3.2 Pembentukan Metana.....	21
2.4 Tempat pemrosesan Akhir (TPA)	22
2.5 Penentuan Potensi CH ₄ dari Tempat Pemrosesan Akhir.....	27
2.6 Permodelan Gas Metana dengan LandGEM	28
2.7 Perhitungan Gas Metana dengan IPCC	32
2.8 Metode Validasi	39
2.9 Pemanfaatan Gas Metan.....	39
2.10 Penelitian Terdahulu.....	41

2.11 Integrasi Keilmuan	50
BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN	53
3.1 Waktu dan Lokasi Penelitian.....	53
3.2 Alat dan Bahan Penelitian	54
3.3 Tahapan dan Prosedur Penelitian	54
3.3.1 Alur Penelitian	54
3.3.2 Sampling Timbulan dan Komposisi Sampah.....	59
3.3.3 Menghitung Data Sampah Masuk ke TPA	60
3.3.4 Proyeksi penduduk dan Timbulan Sampah TPA.....	60
3.3.5 Perkiraan masa layanan lahan urug (<i>landfill</i>) TPA.....	62
3.3.6 Analisis Produksi Gas Metana TPA dengan LandGEM.....	63
3.3.7 Validasi Hasil.....	64
3.3.8 Pemanfaatan Gas Metana (CH ₄)	65
3.4 Tahap Analisis Data dan Pembahasan.....	66
3.5 Tahap Penyusunan Laporan	68
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN	69
4.1 Gambaran Umum Wilayah Penelitian.....	69
4.2 Proyeksi Penduduk Kabupaten Lumajang.....	70
4.3 Sampling Densitas, Timbulan dan Komposisi Sampah	78
4.3.1 Timbulan Sampah.....	78
4.3.2 Densitas Sampah.....	83
4.3.3 Komposisi Sampah	84
4.4 Proyeksi Timbulan Sampah.....	92
4.5 Perhitungan Sisa Masa Layanan TPA Lempeni.....	95
4.6 Perhitungan Potensi Gas Metana dengan LandGEM.....	97
4.7 Validasi Hasil dengan Model IPCC	103
4.8 Penentuan Pemanfaatan Gas Metana di TPA.....	110
4.8.1 Pemanfaatan Gas Metana Menjadi Energi Listrik.....	110
4.8.2 Pemanfaatan Gas Metana Menjadi Biogas	115

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	117
5.1 Kesimpulan.....	117
5.2 Saran	118
DAFTAR PUSTAKA	119
LAMPIRAN.....	124

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Kandungan dan Berat Jenis Sampah Perkotaan.....	13
Tabel 2.2 Karakteristik <i>Proximate Analysis</i> dan <i>Ultimate Analysis</i> Sampah Perkotaan.....	15
Tabel 2.3 Besarnya Timbulan Sampah Berdasarkan Sumbernya	17
Tabel 2.4 Timbulan sampah di beberapa kota di Indonesia	18
Tabel 2.5 Tipe Default LandGEM	31
Tabel 2.6 Nilai Kapasitas pembentukan Metana Potensial (Lo)	31
Tabel 2.7 Komposisi Sampah Default IPCC Wilayah Asia Tenggara	35
Tabel 2.8 Nilai DOC (<i>Degradable Organic Carbon</i>) per komponen	37
Tabel 2.9 <i>IPCC Climate Zone definition</i>	37
Tabel 2.10 Default <i>methane generation rate constants</i> pada model IPCC (2006)	38
Tabel 2.11 <i>Methane Correction factor</i>	39
Tabel 2.12 Penelitian Terdahulu	41
Tabel 4.1 Jumlah Penduduk Kabupaten Lumajang tahun 2010-2019	70
Tabel 4.2 Perhitungan Koefisien Korelasi (r) dengan metode aritmatik	71
Tabel 4.3 Perhitungan perhitungan proyeksi penduduk dengan metode Geometrik	73
Tabel 4.4 Perhitungan perhitungan proyeksi penduduk dengan metode Least Square	74
Tabel 4.5 Nilai koefisien korelasi 3 metode.....	75
Tabel 4.6 Perhitungan presentase penduduk (r).....	76
Tabel 4.7 Perhitungan proyeksi penduduk dengan metode Geometrik	77
Tabel 4.8 Perhitungan Densitas Sampah di TPA Lempeni.....	84

Tabel 4.9 Rekap Timbunan sampah TPA Lempeni Lumajang tahun 2017	78
Tabel 4.10 Rekap Timbunan sampah TPA Lempeni Lumajang tahun 2018	79
Tabel 4.11 Rekap Timbunan sampah TPA Lempeni Lumajang tahun 2019	79
Tabel 4.12 Data sampah yang masuk TPA Lempni tahun 2017-2019	80
Tabel 4.13 Hasil perhitungan Timbulan sampah Penduduk kabupaten Lumajang 2017-2019	82
Tabel 4.14 Komponen Komposisi Sampah di TPA Lempeni Lumajang.....	85
Tabel 4.15 Komponen Komposisi Sampah Tpa Lempeni Lumajang	87
Tabel 4.16 Hasil Sampling Komponen DOC komposisi Sampah Tpa Lempeni Lumajang.....	89
Tabel 4.17 Persentase Komponen DOC komposisi Sampah TPA Lempeni Lumajang.....	90
Tabel 4.18 Proyeksi Timbulan Sampah masuk TPA Lempeni 2020-2026.....	93
Tabel 4.19 Input Proyeksi Timbulan Sampah.....	98
Tabel 4.20 Hasil perhitungan gas metana dengan LandGEM.....	99
Tabel 4.21 Hasil perhitungan emisi gas metana.....	106
Tabel 4.22 Hasil perhitungan emisi gas metana berdasarkan komposisi sampah	107
Tabel 4.23 Konversi Gas metana menjadi listrik berdasarkan EPA	111
Tabel 4.24 Hasil Konversi Gas metana menjadi listrik	113

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Ikatan Kimia Senyawa Metana	20
Gambar 2.2 Metode Open Dumping.....	24
Gambar 2.3 Metode Controlled Landfill	25
Gambar 2.4 Metode Sanitary Landfill	26
Gambar 2.5 Software LandGEM	32
Gambar 3.1 Lokasi TPA Lempeni Kabupaten Lumajang.....	52
Gambar 3.2 Kerangka Penelitian	54
Gambar 4.1 Diagram Komposisi sampah Di TPA lempeni Kabupaten Lumajang 2019	86
Gambar 4.2 Diagram Komposisi sampah Di TPA lempeni Kabupaten Lumajang	87
Gambar 4.3 User Input model LandGEM	92
Gambar 4.4 Lahan TPA Lempeni Zona 1	94
Gambar 4.5 Grafik Hasil perhitungan gas metana dengan LandGEM	96
Gambar 4.6 Grafik perbandingan Hasil perhitungan gas metana dengan LandGEM	104
Gambar 4.7 Perkiraan emisi gas metan berdasarkan model IPCC	110
Gambar 4.8 Grafik Validasi Hasil perhitungan emisi gas metana dengan LandGEM dan IPCC	111
Gambar 4.9 teknologi Internal Combustion Engine	114

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pengelolaan sampah perkotaan mempunyai tujuan untuk melayani sampah yang dihasilkan masyarakat kota, yang akhirnya akan dibuang ke Tempat Pemrosesan Akhir (TPA). Saat ini pengelolaan persampahan menghadapi banyak tekanan diakibatkan semakin besarnya sumber sampah (Musrida, 2013). Sampah yang dihasilkan menjadi permasalahan dikarenakan tidak adanya pengolahan sampah. Dalam Pandangan islam kegiatan tersebut termasuk kegiatan merusak alam, yang disebutkan dalam firman Allah SWT pada potongan QS. Al-A'raf [7]: 56 yang artinya janganlah kamu berbuat kerusakan di muka bumi setelah (diciptakannya) dengan baik.

Permasalahan kuantitas sampah perkotaan akan sangat mempengaruhi jumlah timbulan sampah di TPA. Menurut Data DLH Kabupaten Lumajang tahun 2019 setiap harinya, Penduduk Lumajang memproduksi sampah sebesar 364,58 m³/hari, sedangkan untuk Standar timbulan sampah di Kabupaten Lumajang adalah sebesar 1,5-3 liter/org/hari merujuk ke Standar timbulan sampah kota kecil.

Penumpukan sampah di Tempat Pemrosesan Akhir (TPA) jika tidak dikelola dengan tepat akan menimbulkan berbagai permasalahan. Tumpukan sampah tersebut akan menghasilkan emisi gas rumah kaca seperti emisi gas karbondioksida (CO₂) dan gas metana (CH₄) ke atmosfer yang dapat menyebabkan terjadinya penipisan lapisan ozon. Hal ini berimplikasi terhadap peningkatan suhu di bumi atau yang lebih dikenal dengan istilah global warming. Menurut Doorn dan Barlaz (1995), metana yang dihasilkan melalui proses dekomposisi anaerob dari sampah yang terkubur di dalam TPA merupakan penyumbang yang signifikan terhadap

emisi CH₄ global, sekitar 10 sampai 70 Tg/tahun atau 10 sampai 70×10⁹ kg/tahun.

Proses degradasi material organik terutama yang berasal dari sampah akan menghasilkan gas metana (CH₄), CO₂, sisa bahan toxic, dan bau. Menurut Boucher et al. (2009) metana merupakan gas rumah kaca antropogenik kedua paling penting setelah karbon dioksida yang sangat memerlukan proses degradasi untuk mengurangi pencemaran udara. Oleh karena itu pemanfaatan gas terutama gas metan sangat diperlukan. Pada umumnya gas metan dapat dimanfaatkan sebagai sumber energi alternatif (Sasmito dkk, 2016). seperti biogas dan energi listrik. Besarnya jumlah sampah yang masuk ke TPA terutama di TPA Lempeni merupakan suatu peluang untuk dimanfaatkan menjadi energi alternatif.

Berdasarkan kondisi diatas, dapat disimpulkan tentang pentingnya dilakukan penelitian mengenai potensi produksi gas metana dalam kegiatan landfilling di TPA Lempeni, Kabupaten Lumajang. TPA Lempeni memiliki luas lahan Total 6,69 Ha. Metode yang diterapkan pada TPA Lempeni adalah metode Sanitary Landfill. Akan tetapi, fasilitas pemanfaatan Gas Metana di TPA tidak berfungsi dengan baik.

Penelitian dilakukan dengan menganalisis besarnya produksi gas metana yang diproduksi dari proses pembuangan sampah di TPA secara landfilling. Selain itu juga dihitung sisa masa pelayanan TPA Lempeni dalam menampung sampah di Kabupaten Lumajang dengan menggunakan model LandGEM (Landfill Gas Emission Model) dan model IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) sebagai pembanding (validasi data). Penggunaan model LandGEM dan IPCC akan sangat tepat dikarenakan kedua software ini telah diakui IPCC (2006) dan USEPA (2005).

1.2 Identifikasi Masalah

Adapun masalah yang akan diidentifikasi dalam penelitian ini, yaitu:

- 1 Komposisi, Densitas dan timbulan sampah di TPA Lempeni, Lumajang.
- 2 Berapa lama jangka waktu TPA Lempeni dapat beroperasi menampung sampah Kabupaten Lumajang.
- 3 Potensi produksi gas metana yang diproduksi dari proses pembuangan sampah di TPA Lempeni, Lumajang secara *landfilling* dengan menggunakan Model LandGEM dan IPCC.
- 4 Pemanfaatan Potensi Produksi Gas Metana dari kegiatan *landfilling* di TPA Lempeni.

1.3 Rumusan Masalah

Rumusan masalah dalam penelitian ini adalah:

1. Bagaimana komposisi, Densitas dan timbulan sampah di TPA Lempeni, Lumajang ?
2. Berapa lama jangka waktu TPA Lempeni dapat beroperasi menampung sampah Kabupaten Lumajang?
3. Berapa besar produksi gas metana yang diproduksi dari proses pembuangan sampah di TPA Lempeni, Lumajang secara *landfilling* dengan menggunakan Model LandGEM dan IPCC?
4. Bagaimana pemanfaatan Potensi Gas Metana dari kegiatan *landfilling* di TPA Lempeni?

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan dalam penelitian ini adalah:

- 1 Mengetahui komposisi, Densitas dan timbunan sampah di TPA Lempeni, Lumajang.
- 2 Memperkirakan masa layanan TPA Lempeni, kabupaten Lumajang.
- 3 Mengestimasi seberapa besar produksi gas metana yang diproduksi dari proses *Landfilling* di TPA Lempeni, Lumajang secara *landfilling* dengan menggunakan Model LandGEM dan IPCC.
- 4 Menghitung potensi pemanfaatan gas metana dari kegiatan *landfilling* di TPA Lempeni.

1.5 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagi Pemerintah

Hasil penelitian ini Diharapkan dapat memberikan informasi kepada Dinas Lingkungan Hidup Kabupaten Lumajang tentang Potensi Produksi Gas metana Yang terkandung dalam timbunan sampah di Tempat pemrosesan Akhir (TPA) Lempeni.

2. Bagi Akademisi

- a. Menjadi sarana meningkatkan pengetahuan mengenai analisa Potensi Produksi gas metana di Tempat Pemrosesan Akhir Sampah dengan Model LandGEM dan IPCC.
- b. Menjadi sumber data ataupun bahan perbandingan penelitian dalam bidang Permodelan gas metana.

3. Bagi Masyarakat

Menambah wawasan serta mengedukasi masyarakat mengenai Potensi Produksi gas metana Di TPA Lempeni dengan menggunakan spreadsheet Model LandGEM dan Model IPCC.

1.6 Batasan Masalah

Adapun batasan masalah pada penelitian ini yaitu:

1. Timbulan sampah, Densitas Sampah dan komposisi sampah yang dianalisis adalah sampah perkotaan di TPA Lempeni, Kabupaten Lumajang.
2. Data Sampling Komposisi Sampah di TPA Lempeni yang diinput hanya sesuai dengan kebutuhan model IPCC saja.
3. Data Proyeksi Jumlah Timbulan Sampah hanya menggunakan Data Timbulan sampah Mulai tahun pembukaan TPA yakni tahun 2017 (3 tahun terakhir).
4. Permodelan yang digunakan dalam penelitian ini adalah model LandGEM (2005) dari USEPA dan model IPCC (2006).

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pengertian dan Klasifikasi Sampah

Sampah merupakan material sisa yang tidak diinginkan setelah berakhirnya proses penggunaan barang atau konsumsi. Volume sampah tergantung pada jumlah penduduk (Saleh, 2014). Sedangkan WHO (*World Health Organization*) mendefinisikan sampah sebagai sesuatu yang sudah tidak digunakan lagi, tidak terpakai sehingga dibuang oleh manusia yang berasal dari kegiatannya dan tidak terjadi dengan sendirinya (Dobiki, 2018).

Sampah memiliki banyak bentuk, diantaranya yaitu padat, cair, dan gas. Sedangkan dari sifatnya sampah digolongkan menjadi dua jenis, yaitu sampah organik dan sampah anorganik. Sampah organik merupakan jenis sampah basah yang berasal dari makhluk hidup, contohnya adalah dedaunan dan sampah makanan. Sampah organik merupakan jenis sampah yang mudah terurai (*degradable*). Jenis lainnya adalah anorganik, sampah ini adalah jenis sampah kering dan sulit atau bahkan tidak bisa diuraikan, seperti plastik, karet, logam, kaleng, dan sejenisnya.

Secara umum Sumber sampah berasal dari kegiatan penghasil sampah seperti Pasar, Rumah Tangga, perkotaan (kegiatan komersil/perdagangan), Penyapuan jalan, Taman, atau tempat umum lainnya serta kawasan industri. Sampah secara umum dapat diklasifikasikan menjadi beberapa jenis, antara lain: Perumahan, Komersil, Institusi, Kontruksi dan Pembongkaran, pelayanan Perkotaan, Unit Pengolahan, Industri dan Pertanian.

Menurut (Wahyono & Sudarno, 2012) Sampah dapat dibagi menjadi beberapa jenis, yaitu:

1. Berdasarkan karakteristiknya

- a. *Garbage* yaitu jenis sampah yang terdiri dari sisa – sisa potongan hewan atau sayuran dari hasil pengolahan yang sebagian besar mengandung zat – zat yang mudah membusuk, lembab, dan sejumlah air bebas.
- b. *Rubbish* yaitu sampah yang berasal dari rumah- rumah, pusat perdagangan, kantor, dan sebagainya, tetapi yang tidak termasuk *garbage*.
- c. *Ashes* (abu) yaitu sisa – sisa pembakaran dari zat – zat yang mudah terbakar baik di rumah, kantor, dan industri.
- d. *Street sweeping* (sampah jalanan) yaitu sampah yang berasal dari pembersihan jalan atau trotoar yang terdiri dari kertas-kertas, dedaunan.
- e. *Dead animal* (bangkai binatang) yaitu bangkai yang mati karena alam, penyakit, atau kecelakaan.
- f. *Houshold refuse* yaitu sampah yang terdiri dari *garbage*, *rubbish*, dan *ashes* yang berasal dari perumahan.
- g. *Abandoned vehicles* (bangkai kendaraan) yaitu bangkai mobil, truk, kereta api.
- h. Sampah industri terdiri dari sampah padat yang berasal dari industri – industri.
- i. *Demolition wastes* yaitu sampah yang berasal dari pembongkaran gedung.
- j. *Construction wastes* yaitu sampah yang berasal dari sisa-sisa pembangunan, perbaikan, dan pembaharuan gedung-gedung.
- k. *Sewage solid* terdiri dari benda – benda kasar yang umumnya zat organik dari penyaringan pada pintu masuk suatu pusat pengolahan air buangan.

1. Sampah khusus yaitu sampah yang perlu penanganan khusus seperti kaleng cat, dan zat radioaktif.
2. Berdasarkan sifatnya
 - a. Mudah terbakar seperti : kertas, plastik, kayu, dan kain.
 - b. Tidak mudah terbakar seperti : kaleng, besi, dan gelas.
 - c. Mudah membusuk seperti : sisa makanan, potongan daging.
 - d. Sukar membusuk seperti : plastik, kaleng, kaca.
3. Berdasarkan zat kimia yang terkandung didalamnya
 - a. Sampah organik seperti : sisa makanan, sayuran, buah-buahan, dan sebagainya.
 - b. Sampah anorganik seperti : logam – logam, pecahan gelas, dan plastik.

2.2 Komposisi, Karakteristik dan Timbulan Sampah

2.2.1 Komposisi Sampah

Komposisi Sampah merupakan penggambaran dari masing-masing komponen yang terdapat pada sampah dan distribusinya. Komponen sampah adalah komposisi fisik seperti: sisa-sisa makanan, kertas, kayu, kain/tekstil, karet, plastik, logam besi maupun non besi, kaca dan lain-lain (Damanhuri & Padmi, 2010).

Komposisi sampah di suatu daerah biasanya dibagi menurut kebijakan daerah tersebut, misalnya komposisi bahan dilihat dari komponen bahan-bahan yang menjadi materi limbah padat dalam presentase berat. Bahan-bahan tersebut meliputi: sisa makanan, kertas, kardus, plastik, tekstil, karet, kulit, sampah, debu, abu. Jika dilihat dari kategori limbah padatnya bisa dari perumahan dan komersial (tanpa limbah berbahaya dan beracun), institusi, konstruksi, dan penghancuran pelayanan pemukiman, serta pengolahan air.

Komposisi sampah dapat dipengaruhi oleh faktor-faktor sebagai berikut:

1. Sumber limbah padat

Komposisi limbah padat suatu sumber sampah akan berbeda dari sumber sampah lainnya

2. Aktivitas penduduk

Profesi dan masing-masing penduduk akan membedakan jenis limbah padat yang dihasilkan dari aktivitas sehari-harinya.

3. Sistem pengumpulan dan pembuangan yang dipakai

Sistem pengumpulan dan pembuangan yang berbeda dari masing-masing tempat akan membedakan komposisi limbah padat yang perlu diketahui.

4. Geografi

Daerah yang satu dengan daerah yang lain berdasarkan letaknya akan membedakan komposisi limbah padat yang dihasilkan, daerah pertanian dan perindustrian akan mempunyai komposisi limbah padat yang berbeda.

5. Sosial ekonomi

Karakteristik limbah Faktor ini sangat mempengaruhi jumlah timbulan limbah padat suatu daerah termasuk di sini adat istiadat, taraf hidup, perilaku serta mental dan masyarakatnya.

6. Musim / iklim

Faktor ini mempengaruhi jumlah timbulan limbah padat, contohnya di Indonesia misalnya musim hujan kelihatannya sampah meningkat karena adanya sampah terbawa oleh air.

7. Teknologi

Dengan kemajuan teknologi maka jumlah timbulan limbah padat juga meningkat. Sebagai contoh, dulu tidak dikenal dengan adanya limbah padat jenis plastik tetapi sekarang plastik menjadi masalah dalam pembuangan limbah padat.

8. Waktu

Jumlah timbulan limbah padat dan komposisinya sangat dipengaruhi oleh faktor waktu (harian, mingguan, bulanan, tahunan). Jumlah timbulan limbah padat dalam satu hari bervariasi menurut waktu. Ini erat hubungannya dengan kegiatan manusia sehari-hari.

Tchobanoglous *et al.* (1993) menyatakan bahwa, Komposisi Sampah dapat dibagi menjadi dua golongan, yaitu:

A. Komposisi Fisik

Secara fisik komposisi sampah dapat terbagi menjadi beberapa jenis seperti: sampah basah (*Garbage*), Sampah halaman, taman, kertas, kain, kardus, karet, plastik, kulit, kayu, kaca, logam, debu, dan lain-lain. Informasi mengenai komposisi fisik sampah diperlukan untuk memilih dan menentukan cara pengoperasian setiap peralatan serta fasilitas-fasilitas lainnya, memanfaatkan kelayakan pemanfaatan kembali sumber daya dan energi dari sampah, serta sebagai perencanaan fasilitas pembuangan akhir.

B. Komposisi Kimia

Secara umum komposisi sampah terdiri dari unsur karbon, Hidrogen, Oksigen, Nitrogen, sulfur, serta unsur lainnya yang terdapat pada protein, Karbohidrat dan lemak.

Intergovernmental Panel on Climate Change (2006) mengelompokkan komposisi sampah menjadi 11 kriteria yaitu makanan, kertas/karton, nappies, sampah taman, kayu, kain, karet dan kulit, plastik, logam, kaca, dan lainnya. Komposisi sampah tersebut menjadi salah satu parameter yang menunjukkan fraksi dari berat basah sampah atau berat kering dari komponen-komponen sampah. Faktor ini menentukan tingkat emisi gas rumah kaca dari suatu pengelolaan limbah karena berpengaruh pada besarnya Gas Rumah Kaca yang dapat terbentuk dihubungkan dengan seberapa besar komponen organik/karbon yang terdapat pada limbah (RAN/RAD-GRK, 2015).

Sedangkan menurut Kementerian Lingkungan Hidup (2012) Penentuan komposisi sampah seharusnya berbasis 1 m³ sampel sampah yang mempresentasikan komposisi seluruh sampah yang ditimbun di TPA yang berasal dari berbagai wilayah. Komposisi sampah dapat ditentukan berdasarkan penimbangan komponen-komponen sampel sampah yang dipilah dari 1 m³ sampel tanpa reduksi volume sampel. Frekuensi sampling sampah yang ideal dilakukan 8 hari berturut-turut untuk setiap musim (hujan dan kemarau). Jika terdapat keterbatasan waktu dan sumberdaya, pengambilan sampel setiap musim dapat dilakukan 2 kali untuk mewakili komposisi sampah hari kerja dan akhir.

2.2.2 Karakteristik Sampah

Karakteristik sampah adalah sifat-sifat sampah yang meliputi sifat fisik, kimia, dan biologinya. Menurut sifatnya karakteristik sampah dapat dibagi menjadi 3 jenis yakni sifat fisik, kimia dan biologis. Pengujian karakteristik sampah dapat digunakan untuk menentukan fasilitas pengolahan, memperkirakan kelayakan pengolahan kembali sampah dan merencanakan fasilitas pembuangan akhir. Berikut ini uraian karakteristik sampah berdasarkan sifatnya:

1. Karakteristik Fisik : berat jenis, kadar air, ukuran partikel partikel dan distribusinya serta permeabilitas buangan kompaksi.

A. Berat Jenis

Berat jenis didefinisikan sebagai berat material per satuan volume. Berat jenis merupakan data yang sangat penting dalam studi mengenai timbulan sampah, terutama jika menggunakan satuan volume. Nilai berat jenis dapat berbeda karena dipengaruhi oleh lokasi geografis, musim tiap tahun, dan lamanya waktu penyimpanan. Menurut pengamatan di lapangan, berat jenis sampah yang terukur akan tergantung pada sarana pengumpul dan pengangkut wadah yang digunakan, dan biasanya untuk kebutuhan desain digunakan angka (Damanhuri & Padmi, 2004)

- Sampah di wadah sampah rumah : 0,15-0,20 ton/m³
- Sampah di Gerobak sampah : 0,25-0,40 ton/m³
- Sampah di truk terbuka : 0,25-0,40 ton/m³
- Sampah di TPA dengan pemadatan konvensional : 0,50-0,60 ton/m³

B. Kadar Air

Kadar air merupakan Kandungan air yang terdapat pada sampah. Kadar air dapat dibagi menjadi 2 metode, pertama metode berat basah untuk pengukuran kelembaban dalam sampel dinyatakan sebagai persentase berat basah bahan, sedangkan kedua metode berat kering, dinyatakan sebagai persentase dari berat kering bahan. Metode berat basah yang paling umum digunakan di bidang pengelolaan limbah padat. Dalam bentuk persamaan, berat basah kadar air dinyatakan sebagai berikut :

$$M = \left[\frac{w-d}{w} \right] \times 100 \dots\dots\dots 2.1$$

Keterangan :

M = kadar air (%)

w = Berat awal (Kg)

d = Berat setelah sampah dikeringan di oven dengan suhu 105 °C (Kg)

Setiap komponen sampah memiliki kandungan kadar air dan berat jenis yang berbeda-beda seperti yang disajikan pada Tabel 2.1 berikut :

Tabel 2.1 Kandungan dan Berat Jenis Sampah Perkotaan

Komponen	Kandungan Air (%)		Berat jenis (Kg/M ³)	
	Kisaran	Umumnya	Kisaran	Umumnya
sampah makanan	50-80	70	120-480	290
Kertas	4-10	6	30-130	85
Karton	4-8	5	30-80	50
Plastik	1-4	2	30-130	65
tekstil	6-15	10	30-100	65
Karet	1-4	2	90-200	230
Kulit	8-12	10	90-260	160
sisa tumbuhan	30-80	60	60-225	105
Kayu	15-40	20	120-320	240
Kaca	1-4	2	160-480	195
Kaleng	2-4	3	45-160	90
Alumunium	2-4	2	60-240	160
logam lainnya	2-6	3	120-1200	320
kotoran, abu, dll	6-12	8	320-960	480

Sumber : Tchobanoglous (1993)

2. Karakteristik Kimia : *Proximate analysis* (Kadar air, volatile, fixed carbon, dan abu), titik lebur, *ultimate analysis* (kadar karbon, nitrogen, hidrogen, oksigen, fosfor, sulfur), dan kadar energi.

A. *Proximate analysis*

Perkiraan analisis untuk komponen-komponen limbah padat meliputi uji:

- *Moisture* (hilangnya uap air ketika dipanaskan sampai 105°C untuk 1 jam).
- *Volatile combustible matter* (tambahan kehilangan berat pada pembakaran di 950°C dalam wadah tertutup).
- *Fixed karbon* (mudah terbakar sisa setelah bahan mudah menguap dihapus).
- Abu (berat residu setelah pembakaran dalam wadah terbuka).

B. *ultimate analysis*

Analisis akhir sebuah komponen limbah secara umum melibatkan penentuan persen C (karbon), H (hidrogen), O (oksigen), N (nitrogen), S (belerang), dan abu. Hasil analisis akhir digunakan untuk menandai komposisi kimia dari materi organik di limbah padat. Selain itu juga digunakan untuk menentukan campuran yang tepat untuk bahan limbah yang sesuai dengan C / N rasio untuk proses konversi biologis. C (karbon) merupakan sumber energi bagi mikroorganisme, sedangkan N (nitrogen) digunakan untuk membangun sel-sel tubuh bagi mikroorganisme. Jika rasio C/N terlalu tinggi dekomposisi berjalan lambat. Jika rasio C/N rendah meskipun pada awalnya terjadidekomposisi yang sangat cepat, tetapi berikutnya kecepatannya akan menurun karena kekurangan karbon sebagai sumber energi dan nitrogen akan hilang melalui penguapan ammonia. Berikut ini tabel Karakteristik *Proximate Analysis* dan *Ultimate Analysis* Sampah Perkotaan.

Tabel 2.2 Karakteristik *Proximate Analysis* dan *Ultimate Analysis*
Sampah Perkotaan

Proximate Analysis	Nilai (%)
Moisture (Kadar Air)	15-40
Volatile Matter (materi yang mudah menguap)	40-60
Fixed Karbon (Karbon tetap)	5-12
NonCombustibles (materi tidak mudah terbakar)	15-30

(Sumber : Tchobanoglous, 1993)

Ultimate Analisis	Nilai (%)
Carbon	40-60
Hidrogen	4-8
Oksigen	30-50
Nitrogen	0,2-1
Sulfur	0,05-0,3
Abu	1-10
Nilai kalor	-
Organic Fraction (KJ/Kg)	12.000-16.000
Total KJ/Kg	8000-12.000

(Sumber : Tchobanoglous, 1993)

3. Karakteristik Biologi : biodegradabilitas, produksi bau dan juga berkembang biakkan lalat

A. Biodegradabilitas

Uji biodegradabilitas berguna untuk mengetahui apakah materi dalam limbah dapat diolah menjadi kompos atau secara anaerob menghasilkan gas metana.

B. Produksi Bau

Bau dapat timbul jika sampah disimpan dalam jangka waktu lama di tempat pengumpulan, transfer station, dan di landfill. Bau dipengaruhi oleh iklim panas. Bau terbentuk sebagai hasil dari proses dekomposisi senyawa organik yang terdapat pada sampah kota secara anaerob. Sebagai contoh, pada kondisi anaerob, sulfat tereduksi menjadi sulfida (S^{2-}) dimana jika zat ini bereaksi dengan hidrogen akan membentuk H_2S .

C. Perkembangan Lalat

Perkembangan lalat dapat dipengaruhi oleh perubahan musim. Pada musim kemarau, berkembangbiakkan lalat perlu mendapat perhatian khusus. dalam waktu kurang dari dua minggu saja lalat dapat berkembang biak pada tempat pengumpulan sampah, sedangkan pada musim penghujan perkembangan lalat cenderung lebih cepat daripada musim kemarau.

Penentuan karakteristik biologi digunakan untuk menentukan karakteristik sampah organik selain plastik, karet dan kulit. Parameter-parameter yang umumnya dianalisis untuk menentukan karakteristik biologi sampah organik terdiri atas (Tchobanoglous, 1993) :

a. parameter yang larut dalam air terdiri atas gula, zat tepung, asam amino, dan lain-lain.

b. hemiselulosa yaitu hasil kondensasi gula dan karbon.

- c. selulosa yaitu hasil kondensasi gula dan karbon.
- d. lemak, minyak, lilin.
- e. lignin yaitu senyawa polimer dengan cincin aromatik.
- f. lignoselulosa merupakan kombinasi lignin dengan selulosa.

2.2.3 Timbulan Sampah

Menurut SNI 19-2454-2002, timbulan sampah adalah banyaknya sampah yang timbul dari kegiatan masyarakat dalam satuan volume maupun berat perkapita perhari, atau perluasan bangunan, atau perpanjangan jalan. Timbulan sampah ini dinyatakan sebagai:

- Satuan berat: kg/org/hari, kg/m³/hari, kg/bed/hari, dan sebagainya
- Satuan volume: L/org/hari, L/m³/hari, L/bed/hari, dan sebagainya.

Besar timbulan sampah berdasarkan sumbernya memiliki volume/berat yang berbeda tiap komponen sumbernya seperti pada tabel berikut ini :

Tabel 2.3 Besarnya Timbulan Sampah Berdasarkan Sumbernya

No	Komponen Sumber Sampah	Satuan	Volume (Liter)	Berat (Kg)
1	Rumah Permanen	Liter/o/hari	2,25-2,50	0,350-0,400
2	Rumah Semi-Permanen	Liter/o/hari	2,00-2,25	0,300-0,350
3	Rumah Non Permanen	Liter/o/hari	1,75-2,00	0,250-0,300

Sumber : Damanhuri & Padmi, 2015

SNI 19-3664-1994 menyatakan, apabila pengamatan lapangan belum dilakukan maka untuk menghitung besaran atau sistem dapat menggunakan data timbulan sampah sebagai berikut :

- a. Satuan timbulan sampah pada kota besar : 3,0-4,5 L/org/hari atau 0,4-0,5 Kg/org/hari.
- b. Satuan timbulan sampah pada kota kecil/ sedang : 1,5-3 L/org/hari atau 0,3-0,4 Kg/org/hari.

Volume timbulan sampah antara daerah satu dengan daerah lain pasti memiliki perbedaan, hal ini dikarenakan tingkat konsumsi masyarakat antara daerah satu dengan daerah lain juga berbeda, hal ini dilihat pada tabel 2.4 dimana volume sampah yang dihasilkan dari beberapa kota besar di Indonesia dalam sehari memiliki perbedaan yang tidak terlalu jauh.

Tabel 2.4 Timbulan sampah dibeberapa kota di Indonesia

Nama Kota	Liter/orang/hari	Kg/Orang/hari
Jakarta	2,60	0,65
Surabaya	2,40	0,60
Semarang	1,80	0,45
Bandung	3,30	0,83
Surakarta	3,20	0,60
Ujung Pandang	2,40	0,60

(Sumber : Damanhuri & Padmi, 2015)

Menurut Damahuri & Padmi (2015) rata-rata timbulan sampah biasanya akan bervariasi dari hari ke hari, antara satu daerah dengan daerah lainnya, dan antara satu negara dengan negara lainnya. Variasi ini terutama disebabkan oleh perbedaan, antara lain :

- a. Jumlah Penduduk dan tingkat pertumbuhannya
- b. Pola hidup masyarakat
- c. Musim buah-buahan
- d. Cara hidup dan mobilitas penduduk
- e. di eropa, debu hasil pembakaran alat pemanas akan bertambah pada musim dingin
- f. cara penanganan makanannya

Menurut Damanhuri *dkk* (2009) Timbulan sampah yang dihasilkan dari suatu kota dapat diperoleh dengan survey pengukuran atau analisis langsung dilapangan, antara lain:

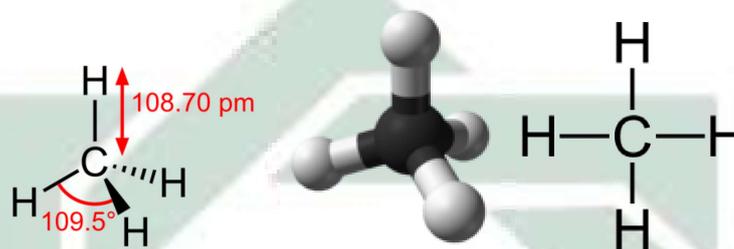
- A. Mengukur langsung satuan timbulan sampah dari sejumlah sampel (Rumah tangga dan non rumah tangga) yang ditentukan secara random-proporsional di sumber selama 8 hari berturut (SNI 19-3964-1995). Sampel hari pertama sebaiknya hanya dijadikan uji coba, tidak dimasukkan ke dalam data.
- B. *Load-Count Analysis* : Mengukur jumlah (berat dan volume) sampah yang masuk TPS, Misalnya diangkut dengan gerobak , yang dilakukan selama 8 hari berturut-turut. Dengan melacak jumlah dan jenis penghasil sampah yang dilayani oleh gerobak yang mengumpulkan sampah tersebut, akan diperoleh suatu timbulan sampah perekivalensi penduduk.
- C. *Weigh-Volume Analysis* : apabila tersedia jembatan timbang di TPA akan dapat diketahui dengan mudah jumlah timbulan sampah dari waktu ke waktu. Apabila jembatan timbang tidak tersedia, maka pengukuran pendekatan dapat dilakukan dengan mendata volume truk yang masuk, dengan menggunakan informasi densitas sampah di truk , akan diperoleh berat sampah harian yang masuk ke TPA.
- D. *Material Balance analysis* : merupakan analisis lebih mendasar, dengan menganalisis secara cermat aliran bahan baku, aliran bahann yang hilang dalam sistem, dan aliran bahan yang menjadi sampah dari suatu sistem, dan aliran bahan yang menjadi sampah dari sebuah sistem yang ditentukan batas-batasnya (*System boundary*)

2.3 Proses Pembentukan Gas Metana

2.3.1 Gas Metana

Metana merupakan gas rumah kaca yang dihasilkan dari proses penguraian bahan organik oleh bakteri anaerob. Metana dihasilkan ketika jenis-jenis mikroorganism tertentu menguraikan bahan organik pada kondisi anaerob. Gas ini juga dihasilkan secara alami pada proses pembusukan biomassa, metana memiliki sifat mudah terbakar, dan dapat menghasilkan karbon dioksida sebagai hasil sampingan.

Pada suhu ruangan dan tekanan standar, metana adalah gas yang tidak berwarna dan tidak berbau. Bau dari metana (yang sengaja dibuat demi alasan keamanan) dihasilkan dari penambahan odoran seperti metanathiol atau etanathiol. Metana mempunyai titik didih $-161\text{ }^{\circ}\text{C}$ ($-257.8\text{ }^{\circ}\text{F}$) pada tekanan 1 atmosfer. Sebagai gas, metana hanya mudah terbakar bila konsentrasinya mencapai 5-15% di udara. Metana yang berbentuk cair tidak akan terbakar kecuali diberi tekanan tinggi (4-5 atmosfer). Berikut ini gambar 2.1 Ikatan kimia senyawa metana :



Gambar 2.1 Ikatan kimia senyawa metana

Sumber : Wikipedia, 2018

Menurut Whitman *et al.* (1992) Metana merupakan produk penting yang terbentuk dari hasil degradasi bahan organik oleh bakteri di lingkungan seperti tanah tergenang, lahan basah, muara, sedimen air tawar dan laut, serta saluran pencernaan binatang. Metana diproduksi di dalam tanah sebagai hasil akhir dari dekomposisi bahan organik secara anaerob. Emisi metana dari tanah terutama berasal dari lahan basah alami, tempat pembuangan sampah akhir, dan padi sawah diperkirakan mewakili setengah dari emisi metana global (Santiabudi, 2010).

Sebagai komponen utama gas alam, metana adalah sumber bahan bakar utama. Pembakaran satu molekul metana dengan oksigen akan melepaskan satu molekul CO_2 (karbondioksida) dan dua molekul H_2O (air):



2.3.2 Pembentukan Metana

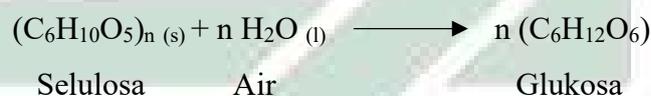
Sampah yang dibuang ke TPA terdiri atas komponen sampah organik dan anorganik. Sampah organik akan mengalami penguraian atau dekomposisi yang akan menghasilkan bahan padat dan gas antara lain CO₂, CH₄ dan sebagian kecil H₂S. Hasil penguraian sampah lainnya adalah berupa asam-asam organik (Nuryani et al. 2003).

Produksi Gas metana dihasilkan dari proses degradasi bahan organik dalam kondisi anaerob. Selanjutnya, gas metan yang dihasilkan tersebut dapat mengalami berbagai proses, seperti: teroksidasi di permukaan tanah landfill, atau dapat ditangkap gas metannya. Bentuknya dapat berupa pemanfaatan energinya atau hanya dibakar (flaring) (RAN/RAD-GRK, 2015).

Secara umum reaksi pembentukan gas metana ada 3 tahap :

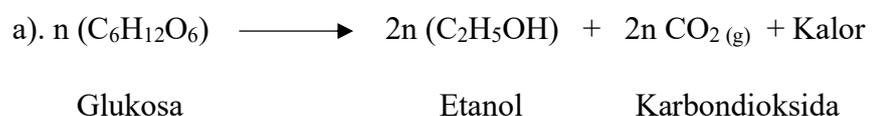
A. Reaksi Hidrolisis/Tahap pelarutan

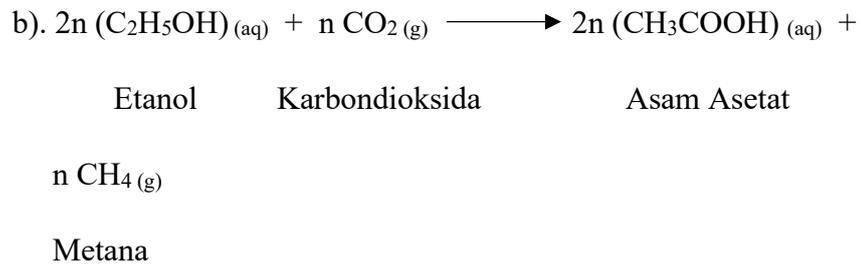
Pada tahap hidrolisis terjadi pemecahan enzimatis dari bahan yang tidak mudah larut seperti lemak, polisakarida, protein, asam nukleat dan lain-lain. Menjadi bahan yang mudah larut. Pada tahap ini bahan tidak mudah larut diubah menjadi bahan yang mudah larut dalam air. Tahap pelarutan berlangsung dengan suhu 25 °C. Berikut ini contoh reaksi hidrolisis pembentukan glukosa :



B. Reaksi Asidogenik/Tahap pengasaman

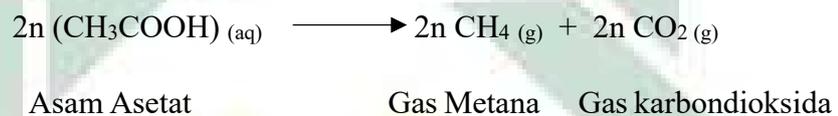
Pada tahap ini bakteri anaerob menghasilkan asam sebagai bahan untuk pembentukan metana dengan suhu 25 °C sampai 30 °C di dalam gester. Berikut ini reaksi asidogenik pembentukan asam asetat :





C. Reaksi Metanogenik/Tahap pembentukan gas metan

Pada tahap ini bakteri metanogenik membentuk gas metan secara anaerob, proses ini berlangsung selama 14 hari dengan suhu 25 °C sampai 35 °C di dalam gester dan menghasilkan CH₄ (70%), CO₂ (30%), dan sedikit H₂, dan H₂S. Berikut ini reaksi *metanogenik* :



2.4 Tempat pemrosesan Akhir (TPA)

Tempat Pembuangan Akhir (TPA) merupakan suatu tempat yang digunakan untuk membuang sampah yang sudah mencapai tahap akhir dalam pengelolaan sampah, dimulai dari pertama kali sampah dihasilkan, dikumpulkan, diangkut, dikelola dan dibuang. TPA adalah tempat pengumpulan sampah yang merupakan lokasi yang harus terisolir secara baik sehingga tidak menyebabkan pengaruh negatif pada lingkungan sekitar TPA. Karenanya diperlukan penyediaan fasilitas dan perlakuan yang benar agar keamanan tersebut dapat dicapai dengan baik.

Menurut data SLHI (2007) dalam penanganannya kondisi sampah di Indonesia, umumnya menggunakan metode penimbunan sampah terbuka (open dumping) sehingga dapat mengakibatkan pencemaran pada lingkungan. Data menyatakan bahwa 90% TPA dioperasikan dengan metode open dumping dan hanya 10% TPA yang dioperasikan dengan Controlled Landfill dan Sanitary Landfill.

Menurut Monice (2018) Landfill merupakan pengelolaan sampah dengan cara menimbunnya di dalam tanah. Di dalam lahan landfill, limbah organik akan didekomposisi oleh mikroba dalam tanah menjadi senyawa-senyawa gas dan cair. Senyawa-senyawa ini berinteraksi dengan air yang dikandung oleh limbah dan air hujan yang masuk ke dalam tanah dan membentuk bahan cair yang disebut lindi (leachate). Jika landfill tidak didesain dengan baik, leachate akan mencemari tanah dan masuk ke dalam badan-badan air di dalam tanah. Oleh karena itu, tanah di landfill harus mempunyai permeabilitas yang rendah. Aktifitas mikroba dalam landfill menghasilkan gas CH₄ dan CO₂ (pada tahap awal proses aerobik) dan menghasilkan gas metana (pada proses anaerobiknya). Berikut beberapa Proses Dasar Landfill di TPA :

- a. Proses penimbunan limbah dalam hal ini sampah yang ditimbunkan pada suatu area.
- b. Penumpukan sampah, dan di ratakan atau menyebarkannya merata dan memadatkan lapisan tipis.
- c. Penutupan pada sampah yang sudah diratakan agar menghasilkan gas metana.

Secara umum metode pembuangan sampah di TPA dapat diterapkan dengan 3 metode. Berikut metode pembuangan Sampah di TPA :

1. Pembuangan Sampah secara terbuka (Open Dumping)

Merupakan metode pembuangan sampah sederhana yakni sampah hanya dihamparkan di TPA tanpa adanya penimbunan dan pengolahan, kemudian TPA tersebut akan ditutup apabila sampah di TPA telah penuh. Metode ini memiliki keunggulan seperti murah dalam pengoperasiannya, akan tetapi metode ini memiliki banyak kekurangan seperti munculnya bau tidak sedap, timbulnya pemandangan yang tidak indah, dapat menimbulkan kebakaran, dapat menimbulkan pencemaran air akibat lindi, serta berkembangnya vektor penyakit di TPA. Berikut ini adalah gambar metode open dumping dapat dilihat pada gambar 2.2



Gambar 2.2 metode Open Dumping

(Sumber : <http://news.tridynamika.com>, 2018)

2. Lahan urug terkendali (Controlled Landfill)

Merupakan metode peningkatan dari metode open dumping, Pada metode ini lahan urug terkendali secara periodik sampah yang telah tertimbun ditutup dengan lapisan tanah untuk mengurangi potensi gangguan lingkungan. Kegiatan penimbunan dilakukan secara berkala umumnya 7 hari. Berikut ini adalah gambar metode Controlled Landfill dapat dilihat pada gambar 2.3



Gambar 2.3 metode Controlled Landfill

(Sumber : <http://www.globalplanet.news>, 2019)

3. Lahan Urug Saniter (Sanitary Landfill)

Metode ini merupakan metode yang paling tepat diterapkan di Indonesia, dikarenakan sebagian besar sampah di negara ini adalah sampah organik, dengan metode ini pengolahan lindi dapat terkontrol dengan baik. Pada bagian dasar sanitary landfill dibangun suatu lapisan kedap air yang dilengkapi pipa pengumpul dan penyalut leachate, serta pipa penyalur gas yang terbentuk dari penguraian sampah organik yang ditimbun. Metode ini memiliki kelemahan yakni memerlukan biaya investasi dan operasional yang tinggi. Berikut ini adalah gambar metode sanitary Landfill dapat dilihat pada gambar 2.4



Gambar 2.4 metode Sanitary Landfill
(Sumber : m.mediaindonesia.com, 2019)

Selain menimbulkan dampak negatif TPA juga memiliki potensi yang jika dikelola dengan baik akan menghasilkan sesuatu yang berguna baik bagi operational TPA ataupun masyarakat sekitar, berikut beberapa potensi di TPA:

a. Gas metana

Umumnya gas metana di TPA akan dimanfaatkan menjadi bahan bakar kompor atau yang biasa dikenal sebagai biogas, padahal jika potensi gas metan di suatu TPA cukup besar, gas tersebut dapat digunakan untuk tenaga listrik yang berbasis PLTS,

sehingga dapat menghemat biaya operasional listrik di TPA tersebut.

b. Pengomposan

Kebanyakan TPA di Indonesia yang telah menerapkan metode sanitary Landfill sudah melakukan pengomposan di lokasi TPA, yang hasil dari pengomposan tersebut dapat dimanfaatkan sebagai pupuk tanaman di TPA atau bisa dijual ke masyarakat sekitar.

c. Pemanfaatan Sampah

Selain dimanfaatkan sebagai biogas ataupun energi Listrik, Pemanfaatan sampah dapat dilakukan masyarakat sekitar yakni mengubah sampah yang tidak memiliki nilai jual menjadi barang atau kerajinan yang memiliki nilai ekonomis, sudah banyak tangan terampil masyarakat yang menjual kerajinan dari sampah seperti tas, anyaman, gantungan dinding, dll.

Menurut Sahil (2016) Umumnya sampah yang masuk di TPA akan mengalami proses pemusnahan baik itu dilakukan pengolahan ataupun dibakar dengan insenerator, kegiatan ini diharapkan dapat memperpanjang umur TPA. berikut ini beberapa upaya pemusnahan sampah di Tempat pemrosesan Akhir :

- a. Melakukan pemusnahan awal di hulu (pemukiman) dengan penerapan sistem 3R ataupun sampah dipilah di TPS sebelum masuk ke TPA. Meminimalisir volume sampah yang masuk ke TPA dapat memperpanjang umur TPA.
- b. Melakukan kegiatan pengomposan di TPA dengan tujuan untuk mengurangi volume sampah di TPA, kegiatan ini juga bisa memperpanjang umur TPA.

- c. Melakukan Pemusnahan dengan cara membakar sampah menggunakan insenerator untuk mengurangi volume sampah di TPA.

2.5 Penentuan Potensi CH₄ dari Tempat Pemrosesan Akhir

Menurut Thorneloe *et al.* (2000), Data produksi CH₄ lebih banyak dikumpulkan di bawah kondisi laboratorium daripada kondisi lapangan. Hal ini dikarenakan, data laboratorium tidak selalu dapat dibandingkan dengan percobaan di lapangan. Sebagai contoh, kelembaban, ukuran partikel, dan temperatur tidak sama, diantara studi-studi yang telah dilakukan. Selain itu, sebagian besar percobaan laboratorium diselenggarakan untuk menguji berbagai teknik dalam meningkatkan produksi CH₄ (Santiabudi, 2010).

Scharff (2011) menyatakan bahwa potensi metana dari limbah yang dibuang di tempat pembuangan sampah tergantung pada komposisi MSW (Municipal Solid Waste), pada kondisi lingkungan, dan operasi dari lokasi pembuangan. Penelitian lain mengkarakterisasi BMP (Biochemical Methane Potential) dari Landfill MSW merekomendasikan bahwa potensi metana harus dikelola untuk meningkatkan kinerja lingkungan dari landfill selama fase operasional aktif dan juga untuk meningkatkan stabilisasi limbah padat yang membantu mengurangi baik emisi CH₄ jangka panjang dan manajemen paska penutupan. (Caecedo-Concha *et al.*, 2019)

Perkiraan secara akurat tentang pembentukan Metana di tempat pembuangan Sampah membutuhkan beberapa pertimbangan faktor tidak hanya potensi biogas, tetapi juga mempertimbangkan faktor lain (Permessur & Surrop, 2019). Berikut beberapa faktor yang mempengaruhi estimasi pembentukan metana seperti komposisi dan variasi limbah dari waktu ke waktu, Kondisi Manajemen lingkungan, Iklim dan operasional, serta tingkat pembuangan limbah di TPA (Caecedo-Concha *et al.*, 2019)

Ada beberapa alat yang digunakan untuk memperkirakan gas TPA yang diproduksi di landfill termasuk pembusukan tingkat pertama yaitu

Landfill Gas Emission (LandGEM) dan IPCC. Merupakan model yang mempertimbangkan faktor waktu dari degradasi proses seperti fraksi karbon yang terdegradasi, efek suhu, Ph, Kelembaban dan komposisi limbah serta faktor koreksi metana untuk menghitung manajemen spesifik lokasi dan kondisi operasional lainnya (Fei et Al., 2019). Akan tetapi Software LandGEM lebih umum digunakan, karena software ini dapat menganalisis hampir semua gas yang berasal dari hasil proses Landfill di TPA.

2.6 Permodelan Gas Metana dengan LandGEM

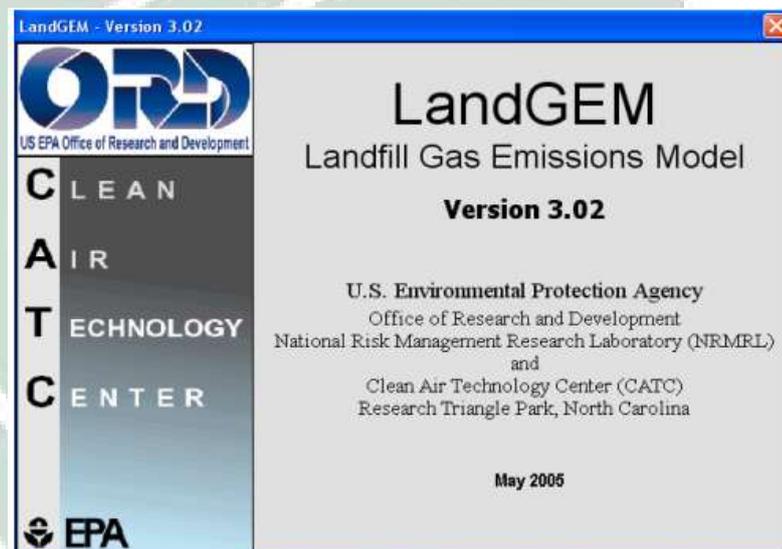
LandFill Gas Emission Model atau biasa disingkat LandGEM Merupakan alat estimasi otomatis dengan antarmuka microsoft excel yang dapat digunakan untuk memperkirakan tingkat emisi untuk total gas landfill, metana, karbon dioksida, senyawa organik non metana, dan polutan udara individu dari tempat pembuangan limbah padat kota (sampah). LandGEM dapat menggunakan data spesifik lokasi untuk memperkirakan emisi atau parameter default jika tidak ada data spesifik lokasi yang tersedia. Model ini berisi dua parameter default, default CAA dan default inventori (Monice, 2018).

Setelan parameter CAA defaults dapat menghasilkan perkiraan emisi yang sederhana, sedangkan setelan inventory defaults menghasilkan emisi rata-rata dan dapat digunakan untuk memperoleh perkiraan emisi yang tidak terdapat data uji spesifik di lapangan. Kedua parameter tersebut memiliki nilai konstanta yang berbeda dalam estimasi emisi metana.

LandGEM dapat menggunakan data spesifik lokasi untuk memperkirakan emisi atau parameter default jika terdapat data spesifik yang tersedia di lapangan. Model ini berisi dua set parameter default, yaitu default CAA dan default inventaris. Default CAA adalah berdasarkan peraturan federal untuk tempat pembuangan akhir MSW yang disusun oleh Clean Air Act (CAA) dan bisa digunakan untuk menentukan apakah TPA sudah patuh pada persyaratan, pengendalian, dan peraturan. Default persediaan didasarkan pada faktor emisi dalam Kompilasi EPA Faktor Emisi Polutan

Udara (AP-42) dan dapat digunakan untuk menghasilkan perkiraan emisi digunakan dalam persediaan emisi dan izin udara dengan tidak adanya data uji spesifik lokasi (Monice, 2018).

Selain itu LandGEM juga dapat Digunakan sebagai Alat yang dibutuhkan dalam pengukuran Potensi Produksi Gas dengan tipe LandGEM-302 (Landfill Gas Emissions Model version 3.02) yang dapat diperoleh dari website U.S. Environmental Protection Agency (US-EPA) software ini juga telah diakui IPCC (2006) dan USEPA (2005) dalam menghitung produksi gas metana yang dihasilkan oleh TPA. Berikut gambar software LandGEM:



Gambar 2.5 Software LandGEM

Sumber : US-EPA, 2005

Umumnya Gas dari TPA yang dihitung dalam LandGEM-v302 dapat diasumsikan 50% metana dan 50% karbon dioksida, dengan tambahan unsur-unsur pokok penyerta dari NMOC dan polutan udara lainnya. Produksi metana ditentukan dengan menggunakan persamaan tingkat dekomposisi orde pertama dan tidak mempengaruhi konsentrasi metana. Akan tetapi, konsentrasi metana akan mempengaruhi perhitungan produksi karbon dioksida (Santiabudi, 2010). Berikut beberapa tipe default LandGEM dalam Tabel 2.5

Tabel 2.5 Tipe Default LandGEM

Tipe Default	Tipe Lanfill	Nilai K ($\frac{1}{\text{tahun}}$)
CAA	Konvensional	0,05
CAA	Daerah Kering	0,02
Inventory	Konvensional	0,04
Inventory	Daerah Kering	0,02
Inventory	Lembab Bioreaktor	0,7

Sumber : US-EPA, 2005

Sedangkan untuk Nilai Lo hanya bergantung pada jenis dan komposisi sampah yang masuk ke TPA (Tabel 2.6). Semakin tinggi kandungan selulosa dari sampah, semakin tinggi pula nilai Lo. Nilai Lo yang digunakan dalam persamaan laju dekomposisi orde pertama diukur dalam satuan m^3/Mg .

Tabel 2.6 Nilai Kapasitas pembentukan Metana Potensial (Lo)

Tipe Default	Tipe Lanfill	Nilai Lo ($\frac{\text{m}^3}{\text{mg}}$)
CAA	Konvensional	170
CAA	Daerah Kering	170
Inventory	Konvensional	100
Inventory	Daerah Kering	100
Inventory	Lembab Bioreaktor	96

Sumber : US-EPA, 2005

Input data yang diperlukan oleh perangkat lunak LandGEM-v302 antara lain :

- a. Tahun TPA dibuka

- b. Tahun rencana TPA ditutup
- c. Kapasitas desain pembuangan
- d. Pilihan model perhitungan penutupan
- e. Penentuan parameter model
- f. Jumlah sampah tahunan yang masuk ke TPA sejak tahun pembukaan TPA.

LandGEM-v302 mengikuti persamaan laju dekomposisi orde pertama dalam memperkirakan emisi tahunan pada periode waktu yang ditentukan.

$$Q_{CH_4} = \sum_i^n \sum_{j=0,1}^1 K L_0 \left(\frac{m_i}{10}\right) e^{-ktej} \dots\dots\dots 2.3$$

Keterangan :

Q_{CH_4} = jumlah metana tahunan yang dihasilkan pada tahun dilakukan perhitungan (m^3 /tahun)

I = peningkatan waktu 1 tahun

n = (tahun perhitungan) – (tahun awal pembukaan TPA)

j = peningkatan waktu 0,1 tahun

k = konstanta laju pembentukan metana (1/tahun)

L_0 = kapasitas metana potensial (m^3 /Mg)

M_i = massa dari sampah yang diterima pada tahun ke- i (Mg)

t_{ij} = umur ke- j massa sampah M_i yang diterima pada tahun ke- i (tahun desimal, misalnya 3,2 tahun)

Dalam Pembuatan sebuah software pastinya memiliki suatu kelebihan dan kekurangan di dalamnya, tidak terkecuali dengan software LandGEM, Software ini juga memiliki kelebihan dan kekurangan seperti dalam uraian berikut :

A. Keunggulan Software LandGEM

- Parameter data yang dimasukkan sederhana yakni menggunakan Bulk Waste (Timbulan Sampah).
- Dapat memberikan informasi penting seperti timbulan gas dan polutan berbahaya.
- Model LandGEM tidak memerlukan data sampah organik yang terperinci

B. Kekurangan Software LandGEM

- Apabila dibandingkan dengan model IPCC, model LandGEM hasil perhitungannya bisa di bilang lebih kasar atau kurang spesifik.

2.7 Perhitungan Gas Metana dengan IPCC

Model IPCC (2006) merupakan metode yang dapat diterapkan untuk semua negara atau wilayah sebab pada pedoman tersebut memberikan nilai default, perkiraan dan metode perhitungan untuk mengatasi kurangnya data dengan menggunakan faktor emisi yang sudah ditentukan oleh IPCC.

Perhitungan emisi gas metana dari *landfill* akan menggunakan tier 1 dari laporan IPCC terkait dengan *Solid Waste Disposal*. Perhitungan emisi gas metana dengan menggunakan Tier 1 dapat dirumuskan sebagai berikut

$$DOC = \sum DOC_i \cdot W_i \dots\dots\dots 2.4$$

$$DDOC_{mdT} = \sum DOC_i \cdot W_i$$

$$DDOC_{maT} = DDOC_{mdT} + DDOC_{maT-1} \cdot (1 - e^{-k})$$

$$DDOC_{indecocomT} = DDOC_{mdT-1} \cdot (1 - e^{-k}) \text{ CH}_4 \text{ yang terbentuk}$$

$$= DDOC_{indecocomT} \cdot F_{16/12}$$

Keterangan :

DOC_i = bagian degradable organic carbon pada limbah tipe i

W_i = bagian tipe limbah i berdasarkan kategori

WT = berat limbah yang terbangun pada tahun T , Gg
 DOC = *Degradable organic carbon* pada tahun pembuangan (bagian) Gg
 C/Gg Limbah
 DOC_f = bagian DOC yang dapat terdekomposisi di dalam kondisi anaerobik (bagian)
 MCF = faktor koreksi metana untuk tahun pembuangan (fraksi)
 $DDOC_{maT}$ = $DDOC_m$ yang terakumulasi pada akhir tahun T
 $DDOC_{mdT}$ = berat $DDOC$ yang terbangun di tempat pembuangan T
 $DDOC_{maT-1}$ = $DDOC_m$ terakumulasi di tempat pembuangan pada tahun $(T-1)$
 $DDOC_m \text{ decomp} T$ = $DDOC_m$ yang terdekomposisi pada tahun T
 F = fraksi gas metana di dalam gas *landfill*.

Metode untuk perhitungan emisi gas rumah kaca (GRK) dari Timbulan sampah di TPA dapat diklasifikasikan berdasarkan tingkat ketelitiannya sebagai berikut :

- Tier 1 : penghitungan dengan metoda *First Order Decay* (FOD) yakni untuk data aktivitas dan faktor emisi (FE) sebagian besar menggunakan angka default.
- Tier 2 : penghitungan berdasarkan metoda FOD yang telah menggunakan data aktivitas yang lebih akurat yakni (berdasarkan data 10 tahun terakhir atau lebih) untuk memperbaiki kualitas inventarisasi meskipun masih menggunakan angka default terutama untuk FE.
- Tier 3 : penghitungan berdasarkan metoda FOD yang didasari data-data yang lebih akurat baik dalam hal data aktivitas yang telah menggunakan country specific dengan parameter-parameter kunci yang telah dikembangkan secara nasional dan FE local.

Faktor emisi ditentukan berdasarkan penelitian dan sangat spesifik untuk setiap bahan atau produk. Indonesia belum memiliki faktor emisi yang spesifik sehingga untuk perhitungan akan menggunakan faktor emisi

yang sudah ditentukan oleh IPCC. (Azka J., 2017). Berikut ini Tabel Komposisi Sampah Default IPCC Wilayah Asia Tenggara:

Tabel 2.7 Komposisi Sampah Default IPCC Wilayah Asia Tenggara

Komponen/Parameter sampah	% DOC Komposisi Sampah (SouthEast Asia region)
Makanan	43,5%
Kertas + karton+ nappies	12,9%
Kayu	9,9%
Kain+Tekstil	2,7%
Karet dan Kulit	0,9%
Plastik	7,2%
Logam	3,3%
Gelas	4,0%
Lain=lain	16,3%
Total	100%

(Sumber : IPCC, 2006)

Data pertama yang harus dikumpulkan adalah data komposisi sampah. Sampah memiliki karakteristik dan komponen yang berbeda tiap kota maupun tiap negara satu dengan yang lainnya. Menurut IPCC Guideline 2006 Komposisi sampah dibagi menjadi sampah dapur atau makanan, kertas dan karton, popok dan pembalut, kayu dan sampah taman, kain dan produk tekstil, karet dan kulit, plastik, logam, gelas, dan lain lain. Komposisi sampah Asia Tenggara berdasarkan default IPCC disajikan pada Tabel 2.7.

Degradable Organic Carbon (DOC) merupakan salah satu parameter utama dalam perhitungan model IPCC dan memiliki perbedaan untuk masing-masing komponen sampah. karakteristik dari sampah yang menentukan seberapa besar gas metana yang dapat terproduksi dari proses degradasi sampah. di Indonesia untuk sekarang belum mempunyai data terkait nilai DOC sampah sehingga perhitungan dilakukan berdasarkan nilai DOC default di IPCC. Nilai besarnya DOC disajikan pada tabel 2.8, *IPCC Climate Zone definition* disajikan pada tabel 2.9, sedangkan *Default methane generation rate constants* pada model IPCC (2006) disajikan pada tabel 2.10.

Tabel 2.8 Nilai DOC (*Degradable Organic Carbon*) per komponen

Parameter/Komponen DOC	Nilai DOC
Food Waste	0,15
Garden	0,2
Paper	0,4
Wood	0,43
Textile	0,24
Disposal nappies	0,24

(Sumber : IPCC, 2006)

Tabel 2.9 IPCC Climate Zone definition

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

(Sumber : IPCC, 2006)

Keterangan :

MAT : Mean Annual Temperature (Rata-Rata Suhu Tahunan)

MAP : Mean Annual Presipitation (Rata-Rata hujan Tahunan)

PET : Potential Evaporation

Tabel 2.10 Default methane generation rate constants pada model IPCC (2006)

Jenis sampah		Temperate						Tropical				
		Dry			Wet			Dry			Moist and Wet	
		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			
	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)

Methane Correction Factor (MCF) atau angka koreksi metan adalah nilai yang berguna untuk mendeskripsikan tingkat dan karakteristik dari suatu TPA. IPCC membagi tipe TPA menjadi lima tipe berdasarkan proses yang terjadi, kedalaman muka air, dan tidak dikategorikan. MCF dibagi menjadi lima dengan karakteristik dan penjelasannya yang berbeda-beda. Penjelasan terkait Methane Correction Factor dan nilainya untuk masing masing kriteria dapat dilihat pada Tabel 2.11.

Tabel 2.11 *Methane Correction factor*

Tipe TPA	Nilai	Keterangan
<i>Managed Anaerobic</i> (Anaerobik yang terkelola)	1	Memiliki salah satu dari kriteria yaitu punya lapisan penutup, dikompaksi atau sampah yang bertingkat
<i>Managed Semi Aerobic</i> (Semi Aerobik yang terkelola)	0,5	Memiliki material penutup permeable, sistem pengairan Lindi, dan Ventilasi Gas
<i>Unmanaged deep >5m</i>	0,8	Tidak memenuhi kriteria dan dalam
<i>Unmanaged Shallow >5m</i>	0,4	Tidak memenuhi kriteria dan dangkal
<i>Uncatagorized</i>	0,6	Tidak dapat dikategorikan

(Sumber : IPCC, 2006)

2.8 Metode Validasi

Menurut (Hasad, 2011), Validasi adalah proses penentuan apakah model sebagai konseptualisasi atau abstraksi, merupakan representasi yang akurat dari sistem nyata. Validasi adalah penentuan apakah model konseptual simulasi (program komputer) adalah representasi akurat dari sistem nyata yang sedang dimodelkan. Berikut ini beberapa metode validasi:

A. Validasi Model Konseptual

Validasi model konseptual adalah proses pembentukan abstraksi relevan sistem nyata terhadap model simulasi yang diharapkan akan dijawab.

B. Validasi Model Logis

Validasi model logis adalah proses mengandung semua kejadian untuk membuktikan apakah model proses benar, rumus matematika dan relasi dalam model valid, serta statistik dan ukuran kinerja diukur dengan benar.

C. Validasi Model Simulasi

Validasi model simulasi adalah proses perspektis eksperimen dengan model simulasi untuk eksperimen sistem aktual, serta kemudahan dalam proses validasi tergantung pada kompleksitas sistem yang dimodelkan.

2.9 Pemanfaatan Gas Metan

Gas metan mempunyai potensi untuk dimanfaatkan sebagai energi, di Indonesia sendiri telah banyak Tempat pemrosesan akhir (TPA) yang telah mengaplikasikan pemanfaatan gas metan menjadi energi listrik maupun biogas dengan teknologi modern maupun konvensional. (Anonim, 2020).

Menurut Monice dan Perinov (2018) Ada beberapa proses untuk menjadikan gas metan dari proses landfill yaitu :

a. Combustion (Pembakaran)

Pembakaran merupakan teknologi yang paling umum untuk digunakan dalam menkonversikan gas landfill. Teknologi pembakaran menggunakan flare, insinerator, boiler, turbin gas, dan mesin pembakaran dalam, secara termal menghancurkan senyawa dalam gas landfill, lebih 98% penghancuran senyawa organik biasanya dicapai. Metana dikonversi menjadi karbon dioksida, menghasilkan pengurangan dampak gas rumah kaca yang besar.

b. Teknologi noncombustion

teknologi ini berkembang pada tahun 1990 sebagai alternatif teknologi untuk pembakaran, yang menghasilkan senyawa yang berkontribusi terhadap asap, termasuk nitrogen oksida, sulfur oksida, karbon monoksida, dan partikel. Noncombustion teknologi terbagi dalam dua kelompok: teknologi pemulihan energi dan konversi gas ke produk teknologi.

Pengelolaan gas metan dapat dilakukan dengan cara mengubah gas metan menjadi karbondioksida dengan proses pembakaran. karbondioksida memiliki nilai Global Warming Potential (GWP) yang jauh lebih rendah dari gas metan. Gas metan mempunyai nilai GWP sebesar 21 yang artinya gas metan berpotensi menyebabkan pemanasan global 21 kali lipat lebih bahaya dibandingkan dengan karbondioksida. Pembakaran gas metan dapat dilakukan dengan metode flaring, maupun dengan konsep waste to energy (WtE). Model flaring dilakukan dengan cara membakar gas metan yang keluar dari pipa-pipa yang dipasang pada tempat penimbunan sampah. Konsep WtE dilakukan dengan menggunakan gas metan sebagai bahan bakar untuk memasak, dengan cara mengambil energi panas (heat) dari gas untuk membangkitkan listrik (Kustiasih, *dkk.*, 2014).

Menurut Malik dkk., (1987) Proses konversi gas metana menjadi listrik pertama diawali dari sumur pengumpul dengan tujuan untuk memisahkan antara air dan gas metan, dengan menggunakan Sistem adsorpsi. Selanjutnya gas dialirkan menuju stasiun sistem pembakaran internal. Mesin yang menerima gas metan dibakar dengan bantuan oksidan di wadah pembakarannya. Di dalam mesin ini, ekspansi suhu tinggi dan gas tekanan tinggi yang diproduksi menerapkan gaya untuk mesinnya. Gaya ini akan menggerakkan piston, bilah turbin, atau nozzle. Sebanyak 40% gas metan dari fraksi organik di landfill diasumsikan tertampung, dialirkan dan dibakar untuk menghasilkan listrik. (Aye dan Widjaya, 2006)

2.10 Penelitian Terdahulu

Dalam penelitian potensi produksi gas metana dari Kegiatan *Landfilling* di TPA Lempeni, Kabupaten lumajang dengan software LandGEM dan model IPCC, pastinya memerlukan referensi dari penelitian terdahulu, yakni penelitian yang pernah dilakukan sebagai bahan pembanding dan acuan dalam penelitian ini. Penelitian terdahulu diharapkan dapat memudahkan peneliti dalam menentukan langkah-langkah yang sistematis, untuk penyusunan penelitian dari segi teori maupun segi konsep. Untuk tabel Referensi Penelitian terdahulu dapat dilihat pada Tabel 2.1

Tabel 2.12 Penelitian Terdahulu

No	Judul	Penulis, Tahun	Metode	Hasil
1	Potensi Produksi Gas Metana Dari Kegiatan Landfilling di TPA Muara Fajar, Pekanbaru	Aryo Sasmita, Ivnaini Andesgur, Herfi Rahmi (2016)	Analisis produksi metana dan karbondioksida dilakukan pada keseluruhan area landfill TPA Muara Fajar Kota Pekanbaru. Data yang diperlukan antara lain : total sampah masuk tahunan, umur TPA. Identifikasi laju timbunan emisi gas metana dan karbondioksida di area TPA Muara Fajar Kota Pekanbaru dihitung menggunakan spreadsheet LandGEM untuk keperluan analisis dispersi gas	Hasil analisis LandGEM menunjukkan total gas landfill yang dihasilkan oleh TPA Muara Fajar menunjukkan nilai timbunan gas berada pada titik puncaknya pada tahun 2019 dengan nilai sebesar 2.919.144 m ³ /tahun, timbunan gas metana 1.331.487 m ³ /tahun, dan total timbunan gas karbondioksida 877.658 m ³ /tahun. Produksi Gas diperkirakan akan habis pada tahun 2096.

No	Judul	Penulis, Tahun	Metode	Hasil
2	Analisis Produksi Gas Metana (CH ₄) dan Karbon Dioksida (CO ₂) dari Tempat Pembuangan Akhir Kota Pekanbaru	Herfi Rahmi, Aryo Sasmita, Elvi Yenie (2017)	<p>Penelitian dilakukan dengan perhitungan masa layanan TPA Kota Pekanbaru berdasarkan perhitungan dan proyeksi data sampah masuk TPA (weight volume analysis).</p> <p>Setelah itu dilakukan prediksi potensi gas metana dan gas karbondioksida sebagai output dari spreadsheet LandGEM (Landfill Gas Emission) dengan data input berupa data sampah masuk TPA tahunan hingga kapasitas TPA terpenuhi. Perkiraan volume timbunan sampah tahunan diperlukan untuk perhitungan kecukupan masa layanan TPA Kota Pekanbaru berdasarkan massa jenis sampah Kota Pekanbaru setelah kompaksi dan reduksi oleh pemulung pada masa operasional TPA.</p>	<p>Hasil analisis total gas landfill LandGEM yang dihasilkan oleh TPA Kota Pekanbaru untuk masa operasional 2017 sampai 2020 menunjukkan nilai total timbunan gas berada pada titik puncaknya pada tahun 2020 yaitu satu tahun setelah berakhirnya operasional TPA, dengan nilai sebesar 3.147.585 m³/tahun setara dengan 359,313 m³/jam, total timbunan gas metana 1.888.551 m³/tahun setara dengan 215,588 m³/jam, dan total timbunan gas karbon dioksida 1.259.034 m³/tahun setara dengan 143,725 m³/jam.</p>

No	Judul	Penulis, Tahun	Metode	Hasil
3	Analisis Pemanfaatan Energi Dari Pengolahan Metode Landfill Di TPA Muara Fajar Pekanbaru	Monice, Perinov (2018)	Pada penelitian ini, dalam penentuan potensi gas metan menggunakan model landGEM Version 3.0.2. yang kemudian gas metan dikonversi menjadi energi listrik.	Dari hasil perhitungan dengan model landgem pada tahun 2017 menghasilkan daya listrik adalah 6.806 kWh, gas metan yang dihasilkan dapat berpotensi jika dimanfaatkan sebagai Pembangkit Listrik Tenaga Sampah, baik dengan metode Thermal ataupun dengan metode Landfill.
4	Kuantifikasi Emisi Metana Dari TPA Galuga Cibungbulang Bogor Jawa Barat	Fajar Santiabudi (2010)	Pendugaan emisi metana dari TPA Galuga menggunakan perangkat lunak LandGEM-v302. menggunakan data tahunan sampah di TPA sejak TPA pertama kali dibuka, Data volume sampah tahunan. Ada dua parameter defaults pada LandGEM-v302 yang digunakan	Pendugaan emisi metana TPA Galuga dengan LandGEM-v302 menghasilkan emisi total gas TPA yang terdiri dari metana, karbon dioksida, dan senyawa organik non-metana dari tahun 1992 sampai 2062. Model

No	Judul	Penulis, Tahun	Metode	Hasil
			<p>untuk menduga emisi metana di TPA Galuga yaitu CAA defaults dan inventory defaults.</p>	<p>pendugaan emisi metana dengan parameter CAA defaults menghasilkan emisi total gas TPA maksimum pada tahun 2013 sebesar 45,02 Gg/tahun dengan emisi metana yang dihasilkan sebesar 12,03 Gg/tahun.</p> <p>.pendugaan emisi metana dengan parameter inventory default menghasilkan emisi total gas TPA maksimum pada tahun 2013 sebesar 22,76 Gg/tahun dengan emisi metana yang dihasilkan sebesar 6,08 Gg/tahun</p>
5	Studi Potensi dan Kualitas Gas dari Tempat	Sri Wahyono (2015)	<p>Analisis potensi produksi gas metana dilakukan berdasarkan metode Firsts Order Decay (FOD) menggunakan model IPCC dan</p>	<p>produksi gas metana hingga tahun 2038 yang diperkirakan sebesar 19.818-36.259</p>

No	Judul	Penulis, Tahun	Metode	Hasil
	Pemrosesan Akhir Sampah Kota Probolinggo		model landGEM, Perhitungan dengan model IPCC menggunakan tier 2 dimana parameter-parameter yang dipakai adalah gabungan dari parameter default dan hasil sampah dan gas. Untuk sampling kualitas gas menggunakan alat Gas Analyser (GA 2000) yang dapat mengukur kadar gas CH ₄ , CO ₂ , CO, H ₂ S dan O ₂ secara real time.	sedangkan untuk Potensi produksi gas metana di TPA Kota Probolinggo pada tahun 2013 (antara 4,6-4,8 m ³ /hari) dapat dimanfaatkan untuk menyalakan kompor gas selama 27-29 jam, menyalakan mesin 22-24 jam dan menyalakan lampu listrik 40 watt berjumlah 25 buah selama 1 jam.
6	Estimating The Amount of methane gas generated from the solid waste using the LandGEM Software, Sistan and Baluchistan	Hamed Biglary, et al (2017)	Penelitian ini dilakukan dengan cara pengambilan sampel karakteristik sampah secara kualitatif dan kualitatif, lalu mengklarifikasikan komponen sampah di provinsi sistan dan baluran, setelah itu dianalisis dengan software LandGEM untuk menghitung produksi gas metan di TPA	Hasilnya Potensi Produksi gas metan di sistan dan provinsi buluchistan pada tahun 2011 sebesar 567 m ³ /jam, diprediksi gas metan akan habis pada tahun 2026 dengan produksi gas sebesar 3596 567 m ³ /jam

No	Judul	Penulis, Tahun	Metode	Hasil
7	Formulating LandGEM Model For Estimation of Lanfill Gas Under Indian Scenario	Rakesh Kumar, et al (2014)	Penelitian ini menggunakan sampel limbah sampah kering dan basah yang berasal dari TPA Mumbai, India yang kemudian sampel tersebut akan dianalisis di laboratorium dengan cara manual ataupun menggunakan electronic Weigt balance, sedangkan untuk pengkuran produksi gas metan di TPA dilakukan dengan menggunakan softwere LandGEM dari US-EPA dengan skenario india	Limbah pembusukan sedang di TPA mumbai diperoleh dengan nilai sebesar 0,221, 0,007 dan 0,0007 m ³ /jam untuk penggunaan LandGEM dengan skenario india, Model ini secara eksklusif digunakan untuk memprediksi potensi metana dari lokasi penimbunan sampah
8	Evaluating of MSW management in the Pursuit of Climate Change	D Deepa, et al (2019)	Penelitian ini menggunakan Softwere LandGEM untuk mengukur produksi gas di TPA kota Chidambaran, data yang dibutuhkan	Hasilnya nilai generasi gas metana dari TPA diperkirakan 1150 mg/tahun untuk periode

No	Judul	Penulis, Tahun	Metode	Hasil
	Mitigation by LandGEM model in Chidambaram Town		antara lain : Konstanta pembangkit gas metan (K), Potensi kapasitas pembangkit Metana (lo), populasi dan timbulan sampah, Kapasitas TPA, Tinggi area TPA, Tingkat Penerima Limbah dan Estimasi gas metan	pembuatan 25 tahun, oleh karena itu dapat disimpulkan bahwa ada potensi 1000 mg/tahun metana dari MSW di Chidambaram
9	Estimation of Methane Emission From a Waste Dome in a Tropical Insular Area	Thomas Plocoste, et al (2016)	Pada penelitian ini menggunakan Software LandGEM dengan input data dibutuhkan antara lain : Tahun pembukaan landfill, Tahun penutupan Landfill, Tingkat penerimaan limbah tahunan pembukaaan hingga penutupan, Konstanta pembangkit metana, Kapasitas pembangkit Potensi Metana, konsentrasi senyawa organik Non logam (NMOC) dan proporsi metana dalam biogas	Hasilnya penelitian ini menunjukkan bahwa limbah gas rumah tangga di La Gabarre akan menghasilkan 4 kali lebih banyak metana daripada di daerah kering seperti Aktotiri. Hal ini menunjukkan dampak kondisi iklim terhadap produksi gas metana selama langkah metanogenesis

No	Judul	Penulis, Tahun	Metode	Hasil
10	Estimation of Methane Gas by LandGEM model from Yasuj Municipal Solid Waste Lanfill, Iran	S. Fallahizadeh, et al (2019)	Dalam penelitian ini menggunakan software LandGEM, data yang dibutuhkan antara lain : Kapasitas Produksi metana, dan nilai konstan metana berdasarkan volume yang kemudian datanya akan dimasukkan ke LandGEM untuk menentukan massa metana yang dihasilkan selama periode rencana evaluasi dengan tepat.	Hasilnya menunjukkan bahwa tingkat produksi metana pada tahun pertama operasi landfill adalah 10 m ³ /jam dan dapat mencapai 671 m ³ /jam dalam periode waktu 20 tahun yakni (2014-2033)

2.11 Integrasi Keilmuan

Permasalahan sampah setiap tahunnya menjadi permasalahan yang tidak bisa dihindarkan, dikarenakan kuantitas sampah yang tiap harinya semakin banyak tidak diimbangi dengan pengolahan yang benar, sehingga dapat menyebabkan permasalahan lain seperti banjir, pencemaran air, pencemaran tanah sampai pencemaran udara. Hal ini mengakibatkan berbagai negara didunia mulai memperhatikan pengolahan sampah. tidak terkecuali dengan islam, dalam islam sendiri telah dijelaskan dalam beberapa surat maupun dari hadist tentang pentingnya menjaga lingkungan dan larangan untuk merusaknya.

Di Indonesia para ulama yang tergabung dalam majelis Ulama Indonesia (2014) mengeluarkan fatwa tentang pengolahan sampah untuk mencegah kerusakan lingkungan. Berikut Fatwa MUI Nomor 43 Tahun 2014 :

- a. Bahwasanya manusia diciptakan oleh allah sebagai khalifah di bumi untuk mengemban amanat dan bertanggung jawab memakmurkan bumi.
- b. Bahwa permasalahan sampah telah menjadi permasalahan nasional yang berdampak buruk pada kehidupan sosial, ekonomi, kesehatan dan lingkungan.
- c. Bahwa telah terjadi peningkatan pencemaran lingkungan hidup yang memprihatinkan, karena rendahnya kesadaran masyarakat dan kalangan industri dalam pengolahan sampah.
- d. Bahwa adanya permintaan fatwa dari Kementrian Lingkungan hidup kepada MUI tentang pengolahan sampah untuk mencegah kerusakan lingkungan.
- e. bahwa berdasarkan pertimbangan poin a sampai d komisi fatwa MUI memandang perlu menetapkan fatwa tentang pengelolaan sampah guna mencegah kerusakan lingkungan.

Dalam pengambilan keputusan fatwa diatas MUI mengambil sumber hukum dari Al- Qur'an dan hadits sebagai berikut :

a. Firman Allah SWT yang menugaskan manusia sebagai khalifah untuk memakmurkan bumi dan melestarikan lingkungan, antara lain :

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 تَعْلَمُ

”Ingatlah ketika Tuhanmu berfirman kepada para Malaikat: “Sesungguhnya Aku hendak 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.” (QS. Al-Baqarah [2]: 30)

b. Firman Allah SWT yang menegaskan bahwa alam ditundukkan untuk kemaslahatan manusia, memerintahkan untuk berbuat baik dan melarang berbuat kerusakan di bumi, antara lain:

أَلَمْ تَرَوْا أَنَّ اللَّهَ سَخَّرَ لَكُمْ مَّا فِي السَّمَاوَاتِ وَمَا فِي الْأَرْضِ وَأَسْبَغَ عَلَيْكُمْ نِعْمَهُ ظَاهِرَةً وَبَاطِنَةً وَمِنَ النَّاسِ مَن يُجَادِلُ فِي اللَّهِ بِغَيْرِ عِلْمٍ وَلَا هُدًى وَلَا كِتَابٍ مُّنِيرٍ

“Tidakkah kamu perhatikan sesungguhnya Allah telah menundukkan untuk (kepentingan)mu apa yang di langit dan apa yang di bumi dan menyempurnakan untukmu ni'mat-Nya lahir dan batin. Dan di antara manusia ada yang membantah tentang (keesaan) Allah tanpa ilmu pengetahuan atau petunjuk dan tanpa Kitab yang memberi penerangan.(QS. Luqman [31]:20)

وَأَحْسِنَ كَمَا أَحْسَنَ اللَّهُ إِلَيْكَ وَلَا تَبْغِ الْفُسَادَ فِي الْأَرْضِ إِنَّ اللَّهَ لَا يُحِبُّ الْمُفْسِدِينَ

Dan berbuat baiklah (kepada orang lain) sebagaimana Allah telah berbuat baik kepadamu, dan janganlah kamu berbuat kerusakan di (muka) bumi. Sesungguhnya Allah tidak menyukai orang-orang yang berbuat kerusakan. (QS. Al-Qashash [28]:77)

...وَلَا تُفْسِدُوا فِي الْأَرْضِ بَعْدَ إِصْلَاحِهَا

”Dan janganlah kamu membuat kerusakan di muka bumi, sesudah (Allah) memperbaikinya” (QS. Al-A’raf [7]: 56)

وَلَا تَبْخَسُوا النَّاسَ أَشْيَاءَهُمْ وَلَا تَعْنُوا فِي الْأَرْضِ مُفْسِدِينَ

Dan janganlah kamu merugikan manusia pada hak-haknya dan janganlah kamu merajalela di muka bumi dengan membuat kerusakan. (QS al-Syuara’ [26]:183)

ظَهَرَ الْفَسَادُ فِي الْبَرِّ وَالْبَحْرِ بِمَا كَسَبَتْ أَيْدِي النَّاسِ لِيُذِيقَهُمْ بَعْضَ الَّذِي عَمَلُوا لَعَلَّهُمْ يَرْجِعُونَ

“Telah nampak kerusakan di darat dan di laut disebabkan karena perbuatan tangan manusia, supaya Allah merasakan kepada mereka sebahagian dari (akibat) perbuatan mereka, agar mereka kembali (ke jalan yang benar). (QS. Al-Rum [30]:41)

3.2 Alat dan Bahan Penelitian

Alat yang digunakan dalam penelitian ini antara lain : perangkat keras (hardware) berupa seperangkat personal computer (PC) atau laptop, perangkat lunak (software) yang digunakan yaitu spreadsheet LandGEM (Landfill Gas Emission Model) dan model IPCC, sedangkan untuk perlengkapan untuk sampling antara lain: kotak densitas 500 liter, sarung tangan karet, alat Tulis, timbangan gantung, sabit, keranjang bambu, masker, sepatu safety/boots, Dsb.

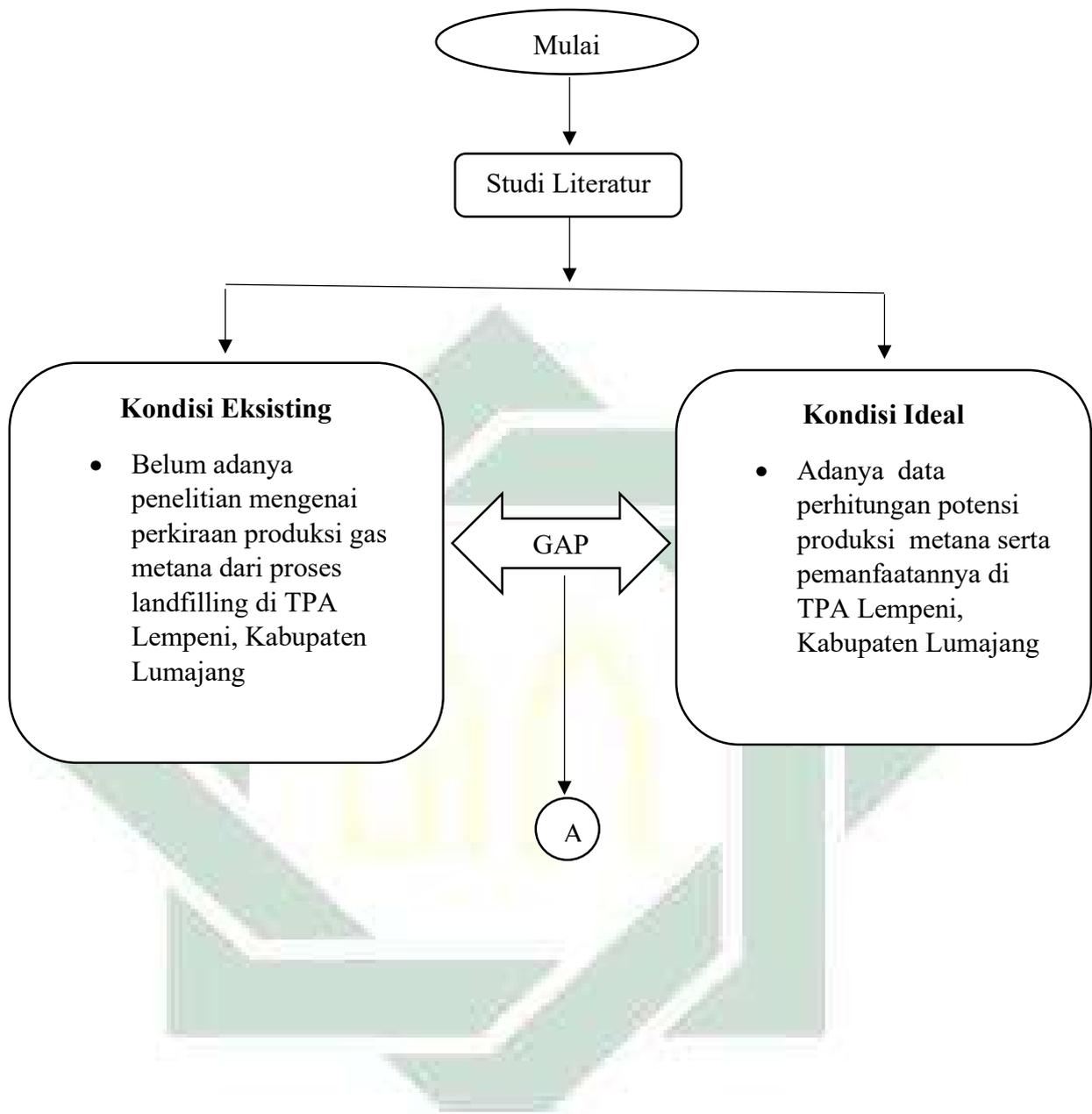
Data yang diperlukan untuk penelitian ini adalah :

1. Timbulan, komposisi dan densitas sampah
2. Jumlah sampah masuk TPA Lempeni (Data jembatan timbang)
3. Tahun rencana operasi TPA Lempeni Kabupaten Lumajang (tahun pembukaan dan penutupan)
4. Kapasitas desain TPA Lempeni Kabupaten Lumajang
5. Peta TPA Lempeni Kabupaten Lumajang
6. Penentuan parameter model
7. Jumlah sampah tahunan yang masuk ke TPA sejak tahun pembukaan TPA.

3.3 Tahapan dan Prosedur Penelitian

3.3.1 Alur Penelitian

Alur penelitian dalam Tugas Akhir ini menjelaskan tentang tahapan atau prosedur penelitian untuk menganalisa potensi produksi metana dari kegiatan Landfiling di TPA Lempeni, Kabupaten Lumajang dengan Permodelan LandGEM. Tujuan adanya alur penelitian ini agar hasil yang diperoleh dalam penelitian sesuai dengan tujuan dalam penelitian. Kerangka penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 3.2 dibawah ini.



A



Tujuan Penelitian

- 1 Mengetahui komposisi dan timbulan sampah di TPA Lempeni, Lumajang.
- 2 Memperkirakan masa layanan TPA Lempeni, kabupaten Lumajang.
- 3 Mengestimasi seberapa besar produksi gas metana yang diproduksi dari proses *Landfilling* di TPA Lempeni, Lumajang secara *landfilling* dengan menggunakan Model LandGEM.
- 4 Menghitung Potensi pemanfaatan gas metana dari kegiatan *landfilling* di TPA Lempeni.



Ide Penelitian

Memperkirakan Potensi Produksi Gas Metana dari kegiatan Landfilling di TPA Lempeni Lumajang dengan permodelan LandGEM



Studi Literatur

- Timbulan Sampah
- Komposisi Sampah
- Densitas Sampah
- Perhitungan penentuan masa layanan TPA
- Permodelan LandGEM
- Permodelan IPCC
- Pemanfaatan Gas Metana



B

B

Penentuan Ruang lingkup Penelitian

1. Waktu dan Tempat penelitian
2. Aspek yang dikaji
3. Model yang digunakan
4. Metode yang digunakan pada Software

Pengumpulan Data

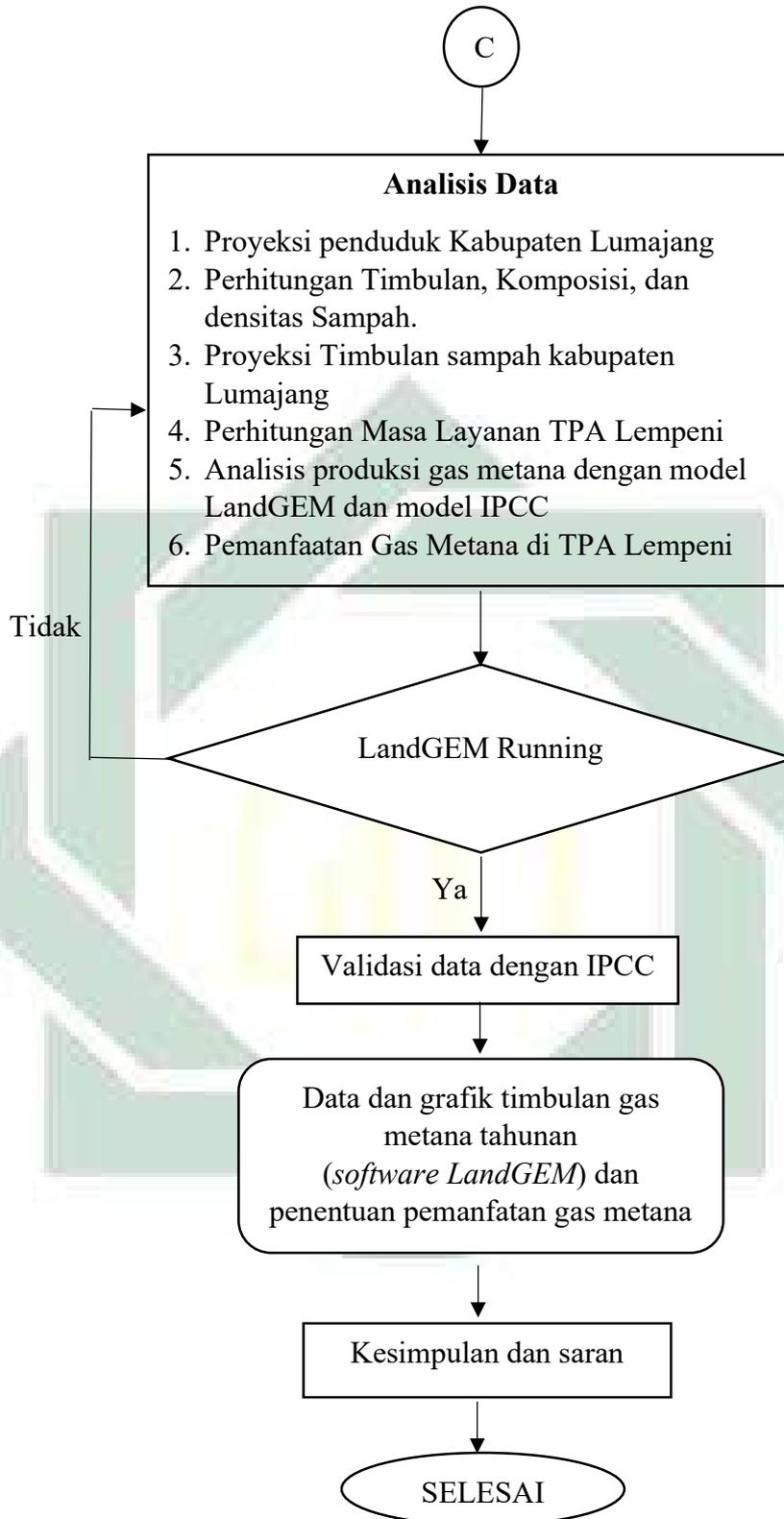
Data Primer

1. Data timbulan sampah
2. Data komposisi sampah
3. Data Densitas sampah

Data Sekunder

1. Data timbulan sampah tahunan di TPA Lempeni, Kabupaten Lumajang.
2. Data penduduk Kabupaten Lumajang.
3. Kapasitas desain TPA Lempeni, Kabupaten Lumajang.
4. Periode perencanaan TPA TPA Lempeni, Kabupaten Lumajang

C



Gambar 3.2 Alur perhitungan potensi gas metana

3.3.2 Sampling Timbulan dan Komposisi Sampah

Pada penelitian ini teknik sampling yang digunakan adalah metode SNI 19-3964-1994 yaitu melakukan sampling sampah selama 8 hari berturut-turut dengan densitas 1 kwintal per hari. Data timbulan sampah kota juga dapat direncanakan dari banyaknya jumlah penduduk Lumajang ataupun dari data besarnya jumlah sampah yang masuk ke TPA Lempeni Lumajang.

Kuantitas sampah dihitung melalui pencatatan berat sampah yang masuk melalui jembatan timbang selama delapan hari sesuai dengan SNI 19-3964-1994 tentang Metode Pengambilan dan Pengukuran Contoh Timbulan dan Komposisi Sampah Perkotaan.

Menurut Damanhuri & Padmi (2018) cara sampling komposisi sampah adalah sebagai berikut:

- a. Sampah yang baru datang dari truk sampah dikumpulkan dipelataran datar beralaskan plastik
- b. Timbulan sampah yang dituang tersebut, kemudian dilakukan metode kuadran dengan membuat timbulan baru, diaduk lalu membentuk kuadran baru lagi dengan berat sampah sekitar 500 liter atau 200 kg, setelah itu sampah dipilah berdasarkan komponen komposisi sampah. Lalu dibentuk kuadran kembali dengan berat sampel sampah sekitar 10-15 liter (3-5 kg) sampah kemudian dimasukkan ke kantong plastik untung ditimbang sesuai dengan komponen komposisi sampah.

Untuk analisis data, dibutuhkan data kuantitas sampah selama sepuluh tahun ke depan. Maka dari itu, untuk mendapatkan data tersebut, digunakan proyeksi timbulan sampah melalui proyeksi jumlah penduduk.

3.3.3 Menghitung Data Sampah Masuk ke TPA

Data sampah masuk dapat diperoleh di kantor TPA Lempeni Kabupaten Lumajang dikarenakan setiap Volume sampah yang masuk ke TPA akan dilakukan penimbangan terlebih dahulu sebelum masuk ke TPA.

3.3.4 Proyeksi penduduk dan Timbulan Sampah TPA

Proyeksi timbulan sampah dihitung berdasarkan data jembatan timbang (*weight volume analysis*) selama masa periode 4 tahun TPA Lempeni, kabupaten Lumajang. Sedangkan proyeksi penduduk Kabupaten Lumajang dihitung menggunakan metode aritmatika, geometri, dan *least square*. Pemilihan metode terbaik berdasarkan nilai standar deviasi (s) terkecil dan faktor korelasi (r) mendekati 1 dari ketiga metode tersebut. Sehingga dari metode yang dipilih akan diperoleh pertambahan jumlah penduduk yang akan digunakan untuk perhitungan timbulan sampah pertahun di Kabupaten Lumajang di masa yang akan datang.

Berikut Rumus metode aritmatika, geometri, dan *least square* :

A. Metode Aritmatika

Metode proyeksi penduduk berdasarkan pertambahan penduduk secara matematik dengan asumsi jumlah pertumbuhan penduduk akan sama setiap tahun.

Metode ini dihitung dengan rumus :

$$P_t = P_o (1 + r(t)) \dots\dots\dots 3.1$$

Keterangan :

P_t = Jumlah penduduk tahun t

P_o = Jumlah penduduk tahun dasar

r = Angka pertumbuhan penduduk

t = Waktu

B. Metode Geometri

Metode proyeksi penduduk berdasarkan rasio pertumbuhan penduduk dengan asumsi penduduk akan bertambah secara geometri dan untuk laju pertumbuhan penduduk dianggap sama setiap tahun.

Metode ini dihitung dengan rumus :

$$P_t = P_o (1+r)^t \dots\dots\dots 3.2$$

Keterangan :

P_t = Jumlah penduduk tahun t

P_o = Jumlah penduduk tahun dasar

r = Angka pertumbuhan penduduk

t = Waktu

C. Metode Least Square

Metode proyeksi penduduk berdasarkan trend data dengan kuadrat error.

Metode ini dihitung dengan rumus :

$$P_n = a + bN \dots\dots\dots 3.3$$

Keterangan :

P_n = jumlah Penduduk tahun n

$$a = \text{Konstanta, dengan rumus } \frac{(\sum Y \times \sum X^2) - (\sum X \times \sum XY)}{(n \times \sum X^2) - (\sum X)^2} \dots\dots 3.4$$

$$b = \text{Koefisien arah regresi Linier, dengan rumus } \frac{(n \times \sum XY) - (\sum X \times \sum Y)}{(n \times \sum X^2) - (\sum X)^2} \dots\dots\dots 3.5$$

N = Selisih tahun proyeksi

3.3.5 Perkiraan masa layanan lahan urug (*landfill*) TPA

Menurut Rahmi *dkk* (2017) untuk menentukan Perkiraan masa layanan lahan urug (*landfill*) di TPA dapat dihitung berdasarkan kecukupan luas lahan urug dengan tahapan sebagai berikut :

a. Perhitungan Kapasitas Landfill (Volume lahan Urug)

Kapasitas Landfill dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut :

$$\text{Volume lahan urug} = \text{Luas landfill} \times \text{Tinggi Timbunan di zona landfill.}$$

b. Perhitungan Volume Tanah Penutup Landfill

Perhitungan volume tanah penutup landfill dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut:

$$\text{Volume penutup landfill} = 20\% \times \text{Volume Lahan Urug}$$

Angka 20 % diperoleh dari asumsi dasar perhitungan volume timbunan sampah di TPA.

c. Perhitungan Kapasitas Landfill untuk Sampah

Kapasitas Landfill untuk Sampah dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut :

$$\text{Kapasitas Landfill untuk sampah} = \text{Volume lahan urug} - \text{Volume penutup Landfill}$$

d. Perhitungan Sisa Luas lahan (tahun ke- n)

Untuk menghitung luas sisa lahan (tahun ke- n) dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut:

$$\text{Luas sisa luas lahan} = \text{Kapasitas } \textit{landfill} \text{ untuk sampah} - \text{Total volume sampah tahun ke- n s.d tahun ke- n}$$

- e. Perhitungan masa layanan (tahun ke- n)

Untuk menghitung masa layanan TPA (tahun ke- n) dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut:

$$\text{Masa Layanan TPA} = \frac{\text{Sisa Lahan setelah tahun ke-n}}{\text{Volume sampah perbulan pada tahun ke-n}}$$

kemudian perhitungan diatas akan di bandingkan dengan data penentuan masa layanan TPA pada DED (Detail Engineering Design) TPA Lempeni, kabupaten Lumajang, rencana terhadap jumlah timbulan sampah yang masuk ke Lempeni, kabupaten Lumajang didapat berdasarkan data jembatan timbang (weight volume analysis) dan faktor reduksi di TPA serta faktor kompaksi sampah oleh alat berat di TPA Lempeni, kabupaten Lumajang rencana.

3.3.6 Analisis Produksi Gas Metana TPA dengan LandGEM

Analisis produksi metana dilakukan pada keseluruhan area landfill TPA Lempeni, kabupaten Lumajang berdasarkan total sampah masuk tahunan yang diperkirakan, beroperasi hingga tahun ditutupnya TPA, Identifikasi laju timbulan emisi gas metana di area TPA Lempeni, kabupaten Lumajang rencana dianalisa dengan spreadsheet LandGEM untuk keperluan analisis dispersi gas. Parameter model untuk kebutuhan analisis dalam LandGEM menggunakan pilihan standar yang telah disediakan oleh LandGEM dan disesuaikan dengan kondisi lokasi penelitian.

3.3.7 Validasi Hasil

Data hasil perhitungan potensi produksi gas metana dengan LandGEM kemudian akan di validasi dengan software IPCC (2006) dengan tujuan mendapatkan data pembanding dan mendapatkan hasil yang lebih akurat. Berikut tahapan perhitungan Model IPCC (2006):

A. Menghitung Nilai DOC

$$DOC = DOC_i \times W_i \dots\dots\dots 3.6$$

Keterangan :

DOC_i = Nilai DOC pada sampah jenis i (sesuai standart IPCC)

W_i = Komposisi Sampah

B. Mencari Nilai DDOC_m (Mass Of Decomposable DOC)

$$DDOC_m = W \times DOC \times DOC_F \times MCF \dots\dots\dots 3.7$$

Keterangan :

$DDOC_m$ = Massa DOC yang terdekomposisi

W = Massa sampah yang dibuang

DOC_F = Fraksi DOC yang dapat dikomposisi

MCF = Faktor koreksi gas Metan

C. Menghitung Emisi CH₄ setiap komposisi sampah

$$Lo = DDOC_m \times F \times (16/12) \dots\dots\dots 3.8$$

Keterangan :

Lo = Potensi Gas CH₄ yang terbentuk

F = Fraksi Terbentuknya CH₄ di *Landfill*

$(16/12)$ = Rasio berat Molekul CH₄/C

D. Menghitung Total Emisi CH₄

$$[\sum_x \text{Jumlah } CH_{4\ x,T} - R_T] \times (1 - OX) \dots\dots\dots 3.9$$

Keterangan :

T = Tahun pembuangan sampah

x = Kategori Sampah atau Jenis/bahan

R_T = Pemulihan CH₄ (ton/tahun), Nilainya tergantung pada apakah system limbah padat buangan dilengkapi dengan beberap sistem untuk melengkapi pemulihan pada landfill atau tidak.

OX = Faktor Oksidasi pada tahun T(Fraksi)

Rekapitulasi data akhir dapat disimpulkan berapakah estimasi emisi unsur metana (CH₄) yang dihasilkan melalui penjumlahan hasil akhir data yang diperoleh dari sistem Sanitary landfill limbah padat domestik yang masuk ke TPA. Nilai emisi yang dihasilkan merupakan nilai total dari sumber limbah padat secara total.

3.3.8 Pemanfaatan Gas Metana (CH₄)

Pada penelitian ini setelah didapatkan potensi yaitu dengan menggunakan metode landfiil. Dimana pada metode ini sampah yang ada ditimbun dalam beberapa waktu sehingga menghasilkan gas metana. Gas metana inilah yang nantinya akan dikonversi ke energi listrik. Konversi banyaknya sampah menjadi gas metana akan menggunakan software Landfill Gas Emissions Model (LandGEM) Version 3.02. Dari gas metana (CH₄) yang dihasilkan dapat dikonversikan ke energi listrik yaitu setiap 1 m³ gas metana (CH₄) setara dengan 11,17 kW (Monice, 2018). Untuk menghitung konversi gas metan menjadi energi listrik dapat dihitung dengan rumus berikut:

$$Pg = \frac{Qt \times H0}{3600} \dots\dots\dots 3.10$$

Keterangan

Pg = Daya yang dihasilkan (kW)

Qt = Produksi gas LFG (m3/jam)

Ho = Nilai kalori LFG (kJ/m3)

3.4 Tahap Analisis Data dan Pembahasan

Data yang diperoleh kemudian diolah untuk menjawab rumusan masalah penelitian. Analisis data yang dilakukan antara lain:

- a. Perhitungan timbulan, komposisi, dan Densitas sampah yang didapatkan dari sampling sesuai SNI-19-3964-1994.

Timbulan sampah diperlukan untuk membantu dalam perhitungan untuk mengetahui produksi sampah setiap orang dengan membandingkan sesuai data penduduk.

Presentase dari masing-masing komposisi dapat dihitung menggunakan rumus sebagai berikut:

$$\%sampel(jenis\ sampah) = \frac{jumlah\ sampel\ (kg)}{total\ jumlah\ sampel\ (kg)} \times 100\% \dots\dots\dots 3.11$$

(sumber : SNI-19-3964-1994)

Komposisi sampah diperlukan sebagai data untuk proses input data di Model IPCC

Penentuan densitas sampah dapat dihitung menggunakan rumus sebagai berikut:

$$Densitas\ Sampah = \frac{Berat\ Sampah\ (kg)}{Volume\ Sampah\ (m^3)} \dots\dots\dots 3.12$$

(sumber : SNI-19-3964-1994)

Densitas sampah diperlukan untuk mengetahui timbulan sampah yang sesuai.

b. Proyeksi jumlah penduduk Kota Lumajang

Proyeksi penduduk dilakukan dengan mengetahui data penduduk Lumajang selama 5 atau 10 tahun kebelakang dan memproyeksikan pertumbuhan selama 10-20 tahun kedepan dengan menggunakan menggunakan metode proyeksi aritmatik/geometri/least square.

Proyeksi penduduk diperlukan untuk mengetahui jumlah timbulan sampah tahun berikutnya serta untuk mengetahui jumlah produksi sampah tiap penduduk.

c. Proyeksi timbulan sampah

Proyeksi timbulan sampah dilakukan dengan cara mengetahui proyeksi penduduk dan data timbulan tahun sebelumnya sehingga mengetahui produksi sampah orang tiap tahunnya dan dapat diproyeksikan, serta mempertimbangkan reduksi sampah dari setiap sumber dari TPA.

Proyeksi timbulan sampah diinputkan dalam perangkat lunak LandGEM untuk mengetahui masa layanan dan produksi gas metana tiap tahunnya.

d. Analisis masa layanan TPA Lempeni Lumajang

Analisis masa layanan TPA dapat diperoleh dari data sekunder berupa data dari Dinas Lingkungan Hidup Kabupaten Lumajang atau dilakukan dengan cara menginputkan timbulan sampah tahunan yang telah diproyeksikan serta data timbulan sampah dari awal pembukaan TPA ke perangkat lunak LandGEM. Analisis ini dilakukan untuk mengetahui sisa masa layanan TPA Lempeni.

e. Analisis gas metana menggunakan perangkat lunak LandGEM

Analisis gas metana dilakukan dengan memodelkan ke perangkat lunak LandGEM, dan yang diinput dalam LandGEM adalah timbunan sampah tahunan, kapasitas *landfill* dan lain-lain.

Analisis ini diperlukan untuk mengetahui timbunan gas metana di TPA TPA Lempeni Lumajang. Untuk mengetahui apakah hasil permodelan tersebut valid, perlu dibuktikan dengan metode validasi sebagai berikut:

- Uji Perilaku Model/Replika

Uji perilaku model/replika dengan membandingkan data permodelan dengan data sebenarnya.

- Uji dengan Simulasi Lain

Uji ini dengan cara membandingkan hasil dari LandGEM dengan model Intergovernmental Panel On Climate Change (IPCC) 2006.

f. Penentuan pemanfaatan gas metana (CH₄) di TPA Lempeni

Setelah hasil analisis dengan Model LandGEM dan IPCC sudah selesai dilakukan, konversi jumlah gas metana ke energi listrik dengan nilai $1 \text{ M}^3 = 11,72 \text{ Kw}$ kemudian dilakukan perhitungan dengan rumus 3.10. Perhitungan ini bertujuan untuk mengetahui potensi energi listrik (Kw) energi listrik di TPA Lempeni tersebut dapat dimanfaatkan sebagai apa saja.

3.5 Tahap Penyusunan Laporan

Pada tahap ini akan dilakukan penulisan laporan dari hasil penelitian yang kemudian akan menghasilkan referensi tentang potensi gas metana (CH₄) dan peluang pemanfaatannya di TPA Lempeni Lumajang, serta dilanjutkan pembuatan kesimpulan dan saran.

BAB 4

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Gambaran Umum Wilayah Penelitian

Kabupaten Lumajang merupakan salah satu daerah yang berada di wilayah bagian selatan Provinsi Jawa Timur. Secara astronomis, Kabupaten Lumajang terletak antara $7^{\circ} 52'$ sampai dengan $8^{\circ} 23'$ Lintang Selatan dan antara $112^{\circ} 50'$ sampai dengan $113^{\circ} 22'$ Bujur Timur dengan luas wilayah mencapai 179.090,00 km². Wilayah ini terdiri atas 21 kecamatan, 195 desa dan 7 kelurahan. Berdasarkan batas administratif dan posisi geografisnya, Kabupaten Lumajang memiliki batas-batas (BPS Lumajang, 2019) :

Batas Utara : Kabupaten Probolinggo
Batas Timur : Kabupaten Jember
Batas Selatan : Samudera Indonesia
Batas Barat : Kabupaten Malang.

Tempat Pembuangan Akhir sampah (TPA) Lempeni terletak Desa Kalipancung, Lempeni, Kecamatan Tempeh, Kabupaten Lumajang, Jawa Timur 67371 (Gambar 3.1). TPA Lempeni berjarak ± 16 km dari pusat kota Lumajang dan secara geografis berada pada koordinat $8^{\circ}23'4''$ LS dan $113^{\circ}15'56''$ BT. TPA Lempeni memiliki luas lahan 6,69 Ha yang terbagi menjadi 2 Zona TPA dengan luas zona 1 = 1,95 ha dan Zona 2 = 2 ha,, akan tetapi lahan yang digunakan untuk pembuangan aktif baru Zona 1 TPA. Sampah yang masuk ke TPA Lempeni berasal dari Kabupaten Lumajang dengan rata rata kuantitas sampah yang masuk ke TPA sebesar 364,58 m³/hari (DLH Lumajang, 2019).

TPA Lempeni dalam pengolahan sampahnya menggunakan sistem *Sanitary Landfill*. Metode ini merupakan metode yang paling cocok diterapkan di Indonesia, dikarenakan sebagian besar sampah di negara ini adalah sampah organik, dengan metode ini pengolahan lindi pun dapat terkontrol dengan baik. Pada bagian dasar sanitary landfill dibangun suatu lapisan kedap air yang dilengkapi pipa pengumpul dan penyalur leachate,

serta pipa penyalur gas yang terbentuk dari penguraian sampah organik yang ditimbun.

TPA Lempeni memiliki beberapa fasilitas penunjang antara lain : green house, tempat komposting, instalasi gas metana. Taman TPA, Area Pembibitan, Aula, Kantor serta IPL (Instalasi Pengolahan Lindi). Untuk gambar lengkapnya dapat dilihat pada Lampiran 7.

4.2 Proyeksi Penduduk Kabupaten Lumajang

Perhitungan Proyeksi Jumlah Penduduk dihitung bertujuan untuk mengetahui rencana jumlah penduduk Kabupaten Lumajang selama 10 tahun mendatang dari tahun 2020-2030, hal ini dilakukan sesuai dengan kebutuhan data perhitungan masa layanan TPA Lempeni yakni 10 tahun. Untuk mengetahui rencana Proyeksi Jumlah Penduduk Kabupaten Lumajang mendatang, pertama harus mencari/mendapatkan data jumlah penduduk Kabupaten Lumajang 10 tahun terakhir. Tabel Jumlah Kabupaten Lumajang 10 tahun terakhir 2010-2019 dapat dilihat pada Tabel 4.1

Tabel 4.1 Jumlah Penduduk Kabupaten Lumajang tahun 2010-2019

No	Tahun	Jumlah Penduduk
1	2010	1.006.458
2	2011	1.012.121
3	2012	1.014.625
4	2013	1.023.818
5	2014	1.026.378
6	2015	1.030.187
7	2016	1.033.698
8	2017	1.036.812
9	2018	1.039.794
10	2019	1.128.777

(Sumber : BPS Lumajang, 2011-2020)

Data jumlah penduduk 10 tahun terakhir berguna untuk menentukan korelasi (r) untuk memilih metode yang paling tepat untuk memproyeksikan jumlah penduduk Lumajang 10 tahun ke depan. Metode yang digunakan dalam memproyeksikan jumlah penduduk Lumajang ada 3 yaitu metode aritmatik, geometri dan least square. Untuk hasil perhitungan nilai koefisien korelasi (r) metode aritmatik, geometrik dan least square disajikan pada Tabel 4.2, Tabel 4.3 dan Tabel 4.4

A. Metode Aritmatik

untuk perhitungan Metode aritmatika dihitung dengan rumus berikut

:

$$P_t = P_o (1 + r(t)) \dots\dots\dots 4.1$$

Keterangan :

P_t = Jumlah penduduk tahun t

P_o = Jumlah penduduk tahun dasar

r = Angka pertumbuhan penduduk

t = Waktu

Tabel 4.2 Perhitungan Koefisien Korelasi (r) dengan metode aritmatik

Tahun	Jumlah Penduduk (Jiwa)	X	Y	X ²	Y ²	XY
2010	1.006.458	1	0	1	0	0
2011	1.012.121	2	5.663	4	32069569	11326
2012	1.014.625	3	2.504	9	6270016	7512
2013	1.023.818	4	9.193	16	84511249	36772
2014	1.026.378	5	2.560	25	6553600	12800
2015	1.030.187	6	3.809	36	14508481	22854
2016	1.033.698	7	3.511	49	12327121	24577
2017	1.036.812	8	3.114	64	9696996	24912
2018	1.039.794	9	2.982	81	8892324	26838
2019	1.128.777	10	88.983	100	7917974289	889830

Tahun	Jumlah Penduduk (Jiwa)	X	Y	X ²	Y ²	XY
Jumlah	10.352.668	55	122.319	385	8.092.803.645	1057421
R						0,521

(Sumber: Hasil Analisis, 2020)

Keterangan: X : Urutan tahun

Y : pengurangan jumlah Penduduk tahun ke-n (akhir) dengan tahun ke- n (awal)

Berikut rincian perhitungan koefisien korelasi metode aritmatik :

$$r = \frac{n(\sum xy) - (\sum y)}{\{[n(\sum y^2) - (\sum y)^2][n(\sum x^2) - (\sum x)^2]\}^{0,5}} \dots\dots\dots 4.2$$

$$= \frac{10(1.057.421) - (122.319)}{\{[10(8.092.803.645) - (122.319)^2][10(385) - (55)^2]\}^{0,5}}$$

$$= 0,521$$

B. Metode Geometri

untuk perhitungan Metode Geometri dihitung dengan rumus berikut:

$$Pt = Po (1+r)^t \dots\dots\dots 4.3$$

Keterangan :

Pt = Jumlah penduduk tahun t

Po = Jumlah penduduk tahun dasar

r = Angka pertumbuhan penduduk

t = Waktu

Tabel 4.3 perhitungan perhitungan proyeksi penduduk dengan metode Geometri

Tahun	Jumlah Penduduk (Jiwa)	x	y	X ²	Y ²	XY
2010	1.006.458	1	13,8219	1	191,05	13,82
2011	1.012.121	2	13,8276	4	191,20	27,66
2012	1.014.625	3	13,8300	9	191,27	41,49
2013	1.023.818	4	13,8390	16	191,52	55,36
2014	1.026.378	5	13,8415	25	191,59	69,21
2015	1.030.187	6	13,8453	36	191,69	83,07
2016	1.033.698	7	13,8487	49	191,79	96,94
2017	1.036.812	8	13,8517	64	191,87	110,81
2018	1.039.794	9	13,8545	81	191,95	124,69
2019	1.128.777	10	13,9366	100	194,23	139,37
Jumlah	10.352.668	55	138,50	385	1918,15	762,41
r						0,772

(Sumber: Hasil Analisis, 2020)

Keterangan: X : Urutan tahun

Y : Ln (Pertambahan Penduduk)

Berikut rincian perhitungan koefisien korelasi metode Geometri :

$$r = \frac{n((\sum xy) - (\sum y))}{\{[n(\sum y^2) - (\sum y)^2][n(\sum x^2) - (\sum x)^2]\}^{0,5}} \dots\dots\dots 4.4$$

$$= \frac{10(762,41) - (138,50)}{\{[10(1918,15) - (138,50)^2][10(385) - (55)^2]\}^{0,5}}$$

$$= 0,772$$

C. Metode Least square

untuk perhitungan Metode Least Square dihitung dengan rumus berikut:

$$P_n = a + bN \dots\dots\dots 4.5$$

Keterangan :

P_t = jumlah Penduduk tahun t

$$a = \frac{(\sum Y \times \sum X^2) - (\sum X \times \sum XY)}{(n \times \sum X^2) - (\sum X)^2}$$

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

N = Selisih tahun proyeksi

Tabel 4.4 perhitungan perhitungan proyeksi penduduk dengan metode Least Square

Tahun	Jumlah Penduduk (Jiwa)	x	y	X ²	Y ²	XY
2010	1.006.458	1	1.006.458	1	1,01296E+12	1006458
2011	1.012.121	2	1.012.121	4	1,02439E+12	2024242
2012	1.014.625	3	1.014.625	9	1,02946E+12	3043875
2013	1.023.818	4	1.023.818	16	1,0482E+12	4095272
2014	1.026.378	5	1.026.378	25	1,05345E+12	5131890
2015	1.030.187	6	1.030.187	36	1,06129E+12	6181122
2016	1.033.698	7	1.033.698	49	1,06853E+12	7235886
2017	1.036.812	8	1.036.812	64	1,07498E+12	8294496
2018	1.039.794	9	1.039.794	81	1,08117E+12	9358146
2019	1.128.777	10	1.128.777	100	1,27414E+12	11287770
jumlah	10.352.668	55	10.352.668	385	1,07286E+13	57659157
r						0,762

(Sumber: Hasil Analisis, 2020)

Keterangan: X : Urutan tahun

Y: Ln (Pertambahan Penduduk)

Berikut rincian perhitungan koefisien korelasi metode Geometrik :

$$r = \frac{n((\sum xy) - (\sum y))}{\{[n(\sum y^2) - (\sum y)^2][n(\sum x^2) - (\sum x)^2]\}^{0,5}} \dots\dots\dots 4.6$$
$$= \frac{10(57.659.157) - (10.352.668)}{\{[10(1,07286E+13) - (10.352.668)^2][10(385) - (55)^2]\}^{0,5}}$$
$$= 0,762$$

D. Nilai Koefisien Korelasi Ketiga Metode

Setelah melakukan perhitungan nilai koefisien korelasi (r) dengan ketiga metode diatas, selanjutnya dipilih nilai koefisien korelasi dari ketiga metode tersebut yang paling mendekati angka 1. Menurut Sugiono (2007) apabila nilai r semakin mendekati angka 1, maka semakin memperkuat data perhitungan proyeksi. Berikut ini Tabel 4.5 nilai koefisien korelasi dengan tiga metode :

Tabel 4.5 Nilai koefisien korelasi 3 metode

koefisien Korelasi	
Aretmatika	0,521
Geometri	0,772
Least Square	0,762

(Sumber: Hasil Analisis, 2020)

Jadi berdasarkan hasil perhitungan nilai koefisien korelasi (r) ketiga metode yang paling mendekati angka 1 adalah metode geometrik dengan nilai r = 0,772

E. Proyeksi Penduduk Dengan Metode Geometrik

Berdasarkan perhitungan nilai koefisien korelasi di atas, nilai koefisien korelasi yang mendekati angka 1 adalah perhitungan dengan menggunakan metode geometrik. Sebelum menghitung proyeksi jumlah Penduduk Kabupaten Lumajang selama 10 tahun mendatang, maka diperlukan nilai persentase pertumbuhan Penduduk Kabupaten Lumajang terlebih dahulu. Persentase pertumbuhan Penduduk Kabupaten Lumajang dapat dilihat dalam Tabel 4.6, sedangkan contoh perhitungan nilai persentase pertumbuhan jumlah Penduduk Kabupaten Lumajang pada tahun 2011 sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 r &= \frac{1}{t} \ln \left(\frac{pt}{po} \right) \times 100\% \dots\dots\dots 4.7 \\
 &= \frac{1}{1} \ln \left(\frac{1.012.121}{1.006.458} \right) \times 100\% \\
 &= 0,56\%
 \end{aligned}$$

Tabel 4.6 Perhitungan presentase penduduk (r)

Tahun	Jumlah penduduk	Penambahan penduduk	Presentase penduduk (r)
2010	1.006.458	0	0
2011	1.012.121	5.663	0,56%
2012	1.014.625	2.504	0,25%
2013	1.023.818	9.193	0,90%
2014	1.026.378	2.560	0,25%
2015	1.030.187	3.809	0,37%
2016	1.033.698	3.511	0,34%
2017	1.036.812	3.114	0,30%
2018	1.039.794	2.982	0,29%
2019	1.128.777	88.983	7,88%
rata-rata			1,11%

(Sumber: Hasil Analisis, 2020)

Dari hasil perhitungan yang terdapat pada Tabel 4.6, maka dapat dilakukan perhitungan proyeksi pertumbuhan jumlah Penduduk Kabupaten Lumajang yang dilihat pada Tabel 4.7. adapun contoh dari perhitungan proyeksi jumlah Penduduk Kabupaten Lumajang pada tahun 2020 adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 P_n &= P_o (1+r)^t \dots\dots\dots 4.8 \\
 &= 1.128.777 (1 + 0,011)^1 \\
 &= 1.141.344
 \end{aligned}$$

Hasil proyeksi pertumbuhan jumlah Penduduk Kabupaten Lumajang selama 10 tahun mendatang (2020-2030) disajikan pada Tabel 4.7

Tabel 4.7 Perhitungan proyeksi penduduk dengan metode Geometrik

Tahun	Po	n	r	$P_n = p_o \cdot (1+r)^n$
2020	1.128.777	1	0,011	1.141.344
2021	1.128.777	2	0,011	1.154.051
2022	1.128.777	3	0,011	1.166.899
2023	1.128.777	4	0,011	1.179.891
2024	1.128.777	5	0,011	1.193.027
2025	1.128.777	6	0,011	1.206.309
2026	1.128.777	7	0,011	1.219.739
2027	1.128.777	8	0,011	1.233.319
2028	1.128.777	9	0,011	1.247.050
2029	1.128.777	10	0,011	1.260.934
2030	1.128.777	11	0,011	1.274.972

(Sumber: Hasil Analisis, 2020)

Dari Tabel 4.7 diatas dapat dilihat jumlah penduduk Kabupaten lumajang berdasarkan hasil proyeksi dengan metode geometrik, Pada tahun 2030 adalah 1.274.972 Jiwa.

4.3 Sampling Densitas, Timbulan dan Komposisi Sampah

4.3.1 Timbulan Sampah

Sampling timbulan sampah dilakukan dengan metode Weight Volume analisis, bertempat di Tempat pemrosesan Akhir (TPA) Lempeni Kabupaten Lumajang. Untuk dokumentasi sampling timbulan sampah dapat dilihat di lampiran 3.

Data yang dibutuhkan untuk menghitung Proyeksi timbulan sampah didapatkan berdasarkan data jembatan timbang (*weight volume analysis*) selama masa periode 4 tahun TPA Lempeni, kabupaten Lumajang. Berikut ini Tabel hasil penimbangan di jembatan timbang disajikan pada Tabel 4.8, Tabel 4.9 dan Tabel 4.10.

Tabel 4.8 Rekap Timbunan sampah TPA Lempeni Lumajang tahun 2017

No	Bulan	Volume (m ³)	Berat (kg)
		jumlah perbulan	jumlah perbulan
1	Januari	4.310	1.590.390
2	Februari	4.412	1.628.028
3	Maret	4.720	1.741.680
4	April	4.922	1.816.218
5	Mei	5.024	1.853.856
6	Juni	7.340	2.708.460
7	Juli	10.270	3.789.630
8	Agustus	10.047	3.707.343
9	September	10.237	3.777.453
10	Oktober	10.230	3.774.870
11	November	10.248	3.781.512
12	Desember	10.250	3.782.250
Total per tahun		92.010	33.951.690
Rata-Rata per Hari		252,1	93.018

(Sumber: DLH Lumajang, 2017)

Tabel 4.9 Rekap Timbunan sampah TPA Lempeni Lumajang tahun 2018

No	Bulan	Volume (m ³)	Berat (kg)
		jumlah perbulan	jumlah perbulan
1	Januari	10.029	3.710.370
2	Februari	9.346	3.661.304
3	Maret	9.901	3.797.027
4	April	9.941	3.785.687
5	Mei	9.688	3.895.485
6	Juni	9.672	3.855.446
7	Juli	10.115	4.126.898
8	Agustus	10.096	4.222.485
9	September	9.923	4.221.899
10	Oktober	10.323	4.237.744
11	November	9.811	4.354.310
12	Desember	10.387	4.513.227
Total per tahun		119.232	48.381.882
Rata-Rata per Hari		326,7	132.553

(Sumber: DLH Lumajang, 2018)

Tabel 4.10 Rekap Timbunan sampah TPA Lempeni Lumajang tahun 2019

No	Bulan	Jumlah	
		Volume Sampah (m ³)	Berat Sampah (kg)
1	Januari	10.620	4.311.720
2	Pebruari	10.650	4.323.900
3	Maret	10.800	4.384.800
4	April	10.440	4.238.640
5	Mei	10.500	4.263.000
6	Juni	10.500	4.263.000
7	Juli	10.680	4.336.080
8	Agustus	11.760	4.774.560

No	Bulan	Jumlah	
		Volume Sampah (m ³)	Berat Sampah (kg)
9	September	11.370	4.616.220
10	Oktober	11.880	4.823.280
11	November	11.880	5.464.800
12	Desember	11.990	5.515.400
Total per tahun		133.070	55.315.400
Rata-Rata per Hari		364,58	151549,04

(Sumber: DLH Lumajang, 2019)

Menurut Data Master Plan Persampahan Kabupaten Lumajang, persentase pelayanan sampah di Kabupaten Lumajang memiliki persentase sebesar 31,5% (Bappeda Lumajang, 2020). perhitungan timbulan sampah dilakukan dengan menggunakan data sampah yang masuk TPA Lempeni dari tahun 2017-2019. Data sampah yang masuk TPA Lempeni pada tahun 2017-2019 disajikan dalam Tabel 4.11

Tabel 4.11 Data sampah yang masuk TPA Lempeni tahun 2017-2019

Tahun	Jumlah Penduduk (jiwa)	Sampah yang masuk TPA (kg/tahun)	Jumlah sampah masuk TPA (kg/hari)
2017	1.036.812	33.951.690	93.018,33
2018	1.039.794	48.381.882	132.553,10
2019	1.128.777	55.315.400	151.549,04

(Sumber: DLH Lumajang, 2017-2019)

Timbulan sampah penduduk Kabupaten Lumajang pada tahun 2017-2019, dapat dihitung dengan rumus berikut:

$$M_t = Fp \times T \times P_t \times 365 \text{ hari} \dots\dots\dots 4.9$$

Dimana:

M_t = Berat sampah yang masuk ke TPA pada tahun t (kg atau m³)

T = Timbulan sampah rata-rata (kg/(orang.hari) atau m³/(orang.hari))

P_t = Proyeksi Jumlah Penduduk pada tahun t (orang)

Fp = Faktor pelayanan (%)

- Perhitungan timbulan sampah penduduk Kabupaten Lumajang tahun 2017, sebagai berikut:

$$M_t = Fp \times T \times P_t \times 365 \text{ hari}$$

$$33.951.690 \text{ kg} = 31,5\% \times T \times 1.036.812 \text{ orang} \times 365 \text{ hari}$$

$$T = \frac{33.951.690 \text{ kg}}{31,5\% \times 1.036.812 \text{ orang} \times 365 \text{ hari}}$$

$$T = 0,29 \frac{\text{kg}}{\text{orang.hari}}$$

- Perhitungan timbulan sampah penduduk Kabupaten Lumajang tahun 2018, sebagai berikut:

$$M_t = Fp \times T \times P_t \times 365 \text{ hari}$$

$$48.381.882 \text{ kg} = 31,5\% \times T \times 1.039.794 \text{ orang} \times 365 \text{ hari}$$

$$T = \frac{48.381.882 \text{ kg}}{31,5\% \times 1.039.794 \text{ orang} \times 365 \text{ hari}}$$

$$T = 0,40 \frac{\text{kg}}{\text{orang.hari}}$$

- Perhitungan timbulan sampah penduduk Kabupaten Lumajang tahun 2019, sebagai berikut:

$$M_t = Fp \times T \times P_t \times 365 \text{ hari}$$

$$55.315.400 \text{ kg} = 31,5\% \times T \times 1.128.777 \text{ orang} \times 365 \text{ hari}$$

$$T = \frac{55.315.400 \text{ kg}}{31,5\% \times 1.128.777 \text{ orang} \times 365 \text{ hari}}$$

$$T = 0,43 \frac{\text{kg}}{\text{orang.hari}}$$

Untuk menghitung timbulan sampah dalam satuan volume, timbulan sampah dalam satuan berat harus dibagi dengan densitas sampah. Densitas sampah hasil perhitungan adalah 181,70 kg/m³. Hasil perhitungan timbulan sampah penduduk Kabupaten Lumajang pada tahun 2017-2019 disajikan dalam tabel 4.12.

Tabel 4.12 Hasil perhitungan Timbulan sampah Penduduk kabupaten Lumajang 2017-2019

Tahun	Timbulan Sampah (kg/Orang/Hari)	Densitas Sampah (kg/m ³)	Timbulan Sampah (Liter/Orang/Hari)
2017	0,29	181,70	1,60
2018	0,40	181,70	2,20
2019	0,43	181,70	2,37
Rata-rata	0,37	181,70	2,04

(Sumber: Hasil Analisis, 2020)

Menurut SNI 19-3664-1994 Satuan timbulan sampah pada kota Lumajang (Kota Sedang) : 1,5-3 L/org/hari atau 0,3-0,4 Kg/org/hari. Berdasarkan hasil perhitungan dari Tabel diatas dapat diketahui bahwa rata-rata Timbulan sampah penduduk kabupaten Lumajang adalah 2,04 Liter/org/hari.

4.3.2 Densitas Sampah

Pengukuran densitas dapat dilakukan bersamaan dengan Pengukuran jumlah timbulan sampah dan komposisi sampah, yakni dilakukan selama 8 hari (18 Juni-27 Juni 2020) di TPA Lempeni Kabupaten Lumajang. Pengukuran densitas ini mengacu pada SNI 19-3964-1994 tentang Metode Pengambilan dan Pengukuran Contoh Timbulan dan Komposisi Sampah Perkotaan dimana massa timbulan sampah dibagi dengan volume.

Pengukuran densitas sampah di TPA Lempeni dilakukan berdasarkan densitas sampah campuran yang dilakukan dengan menggunakan kotak densitas 500 L (100 cm x 100 cm x 50 cm) dan densitas dari masing-masing komposisi. Perhitungan densitas sampah ini dengan mengukur volume kotak densitas 500 L yang sebelumnya kotak telah ditimbang dalam keadaan kosong yang kemudian diisi sampel sampah hingga penuh. Setelah itu, kotak densitas dihentak sebanyak 3 kali dengan tinggi sekitar 20 cm, setelah itu dilakukan penimbangan pada densitas tersebut. Untuk pengukuran densitas per komposisi juga sama seperti densitas campuran. Perhitungan densitas sampah dapat dilihat pada uraian berikut:

Densitas sampah Hari ke-1

$$\begin{aligned}\text{Volume kotak sampling} &= p \times L \times T \\ &= 1\text{m} \times 1\text{m} \times 0,39\text{m} \\ &= 0,39 \text{ m}\end{aligned}$$

Berat Sampah (tanpa kotak sampling) = 112,4 kg

$$\begin{aligned}\text{Densitas Sampah} &= \frac{\text{Massa Timbulan sampah}}{\text{Volume sampah}} \\ &= \frac{56,20 \text{ kg}}{1\text{m} \times 1\text{m} \times 0,39\text{m}} \\ &= 144,10 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}\end{aligned}$$

Untuk Hasil pengukuran densitas sampah secara lengkap (8 hari) disajikan dalam Tabel 4.13 berikut:

Tabel 4.13 Perhitungan Densitas Sampah di TPA Lempeni

Tanggal Sampling	Panjang (m)	Lebar (m)	Tinggi (m)	Volume (m ³)	Berat sampah (tanpa kotak densitas) (kg)	Densitas sampah (kg/m ³)
18 Juni 2020	1	1	0,39	0,39	56,20	144,10
19 Juni 2020	1	1	0,30	0,30	51,55	171,83
20 Juni 2020	1	1	0,24	0,24	50,28	209,48
21 Juni 2020	1	1	0,32	0,32	58,40	185,40
22 Juni 2020	1	1	0,34	0,34	56,75	166,91
23 Juni 2020	1	1	0,35	0,35	65,70	187,71
24 Juni 2020	1	1	0,33	0,33	62,08	191,00
25 Juni 2020	1	1	0,35	0,35	68,03	197,17
Rata-Rata						181,70

(Sumber: Hasil Analisis, 2020)

Menurut Damanhuri & Padmi (2015). Densitas sampah yang diturunkan dari truk, dalam kondisi tidak terkompaksi memiliki densitas sebesar 10 kg/m³ sampai 200 kg/m³ Berdasarkan perhitungan Tabel 4.8 diatas dapat diketahui bahwa nilai densitas sampah tertinggi diperoleh pada sampling hari ke-3 dengan nilai 209,48 kg/m³ sedangkan nilai terendah terdapat pada sampling hari ke-1 dengan nilai 144,10 kg/m³. Nilai rata-rata densitas sampah di TPA Lempeni adalah 181,70 kg/m³.

4.3.3 Komposisi Sampah

Sampling Komposisi sampah dilakukan dengan metode SNI 19-3964-1994, selama 8 hari berturut-turut dimulai tanggal 18-27Juni 2020, bertempat di Tempat pemrosesan Akhir (TPA) Lempeni Kabupaten Lumajang.untuk dokumentasi sampling komposisi sampah dapat dilihat di lampiran 6.

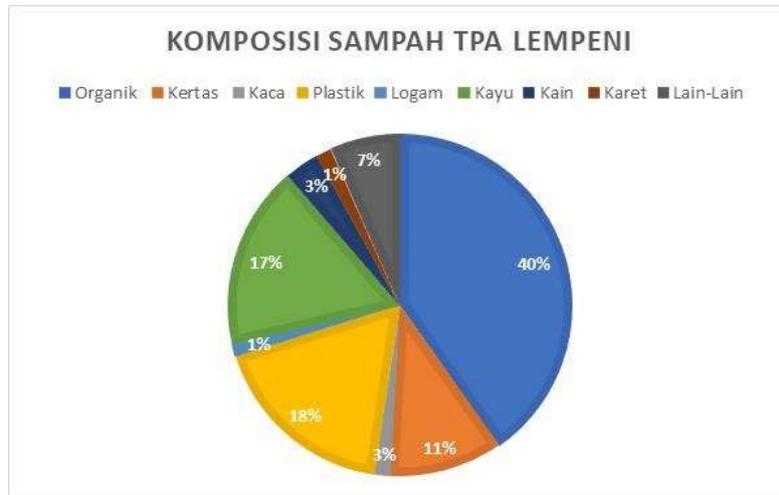
Tujuan dari sampling komposisi sampah ini adalah untuk mengetahui jenis sampah yang dihasilkan di TPA Lempeni Kabupaten Lumajang. metode sampling komposisi sampah yang digunakan mengacu pada SNI 19-3964-1994 tentang Metode Pengambilan dan Pengukuran Contoh Timbulan dan Komposisi Sampah Perkotaan, yaitu dengan metode kuadran dengan cara membentangkan tali menjadi 4 bagian diatas permukaan timbulan kemudian diambil sampel sampah sebanyak 100 kg yang kemudian dipilah berdasarkan komposisi yang telah ditentukan untuk dilakukan penimbangan. Berikut ini Tabel 4.14 dan diagram komponen komposisi sampah di TPA Lempeni Lumajang tahun 2019 :

Tabel 4.14 Komponen Komposisi Sampah di TPA Lempeni Lumajang

2019

No	Komponen Sampah	Persentase (%)
1	Organik	40,25
2	Kertas	10,65
3	Kaca	1,5
4	Plastik	17,8
5	Logam	1,15
6	Kayu	17,35
7	Kain	3,25
8	Karet	1,45
9	Lain-Lain	6,6
Total		100

(Sumber: DLH Lumajang, 2019)



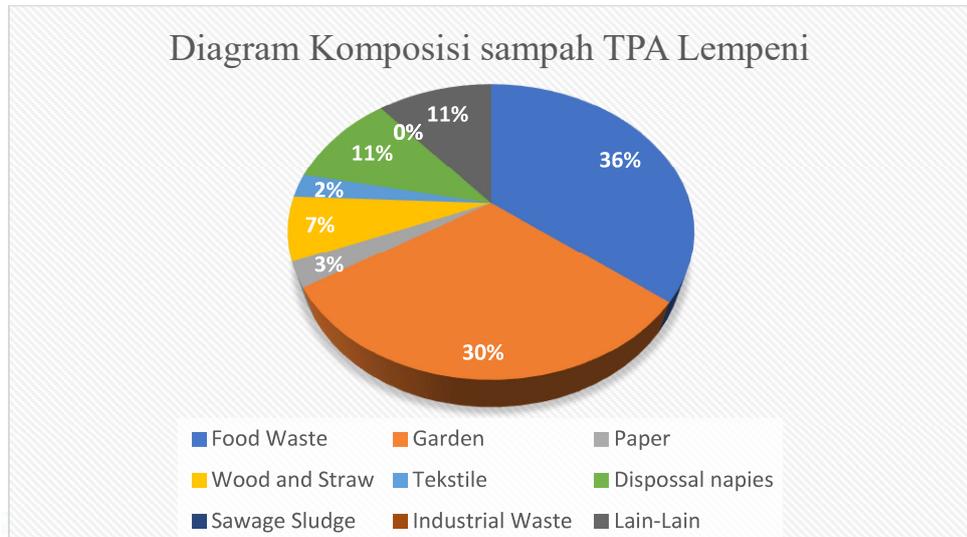
Gambar 4.1 Diagram Komposisi Sampah Tpa Lempeni tahun 2019
(Sumber: DLH Lumajang, 2019)

Data sampling komposisi sampah digunakan untuk input data pada software IPCC dengan komposisi yang dibutuhkan sesuai pada Tabel 2.7. Berikut ini Tabel Tabel 4.15 Komponen Komposisi Sampah di TPA Lempeni Lumajang gambar diagramnya disajikan pada Gambar 4.2.

Tabel 4.15 Komponen Komposisi Sampah di TPA Lempeni Lumajang
2020

Parameter/Komponen DOC (Berat Basah)	persentase (%)
Food Waste	36
Garden	30
Paper	3
Wood and Straw	7
Tekstile	2
Disposal napies	11
Sawage Sludge	0
Industrial Waste	0
Lain-Lain	11
Total	100

(Sumber : Hasil Sampling Lapangan, 2020)



Gambar 4.1 Diagram Komposisi sampah Di TPA lempeni Kabupaten Lumajang

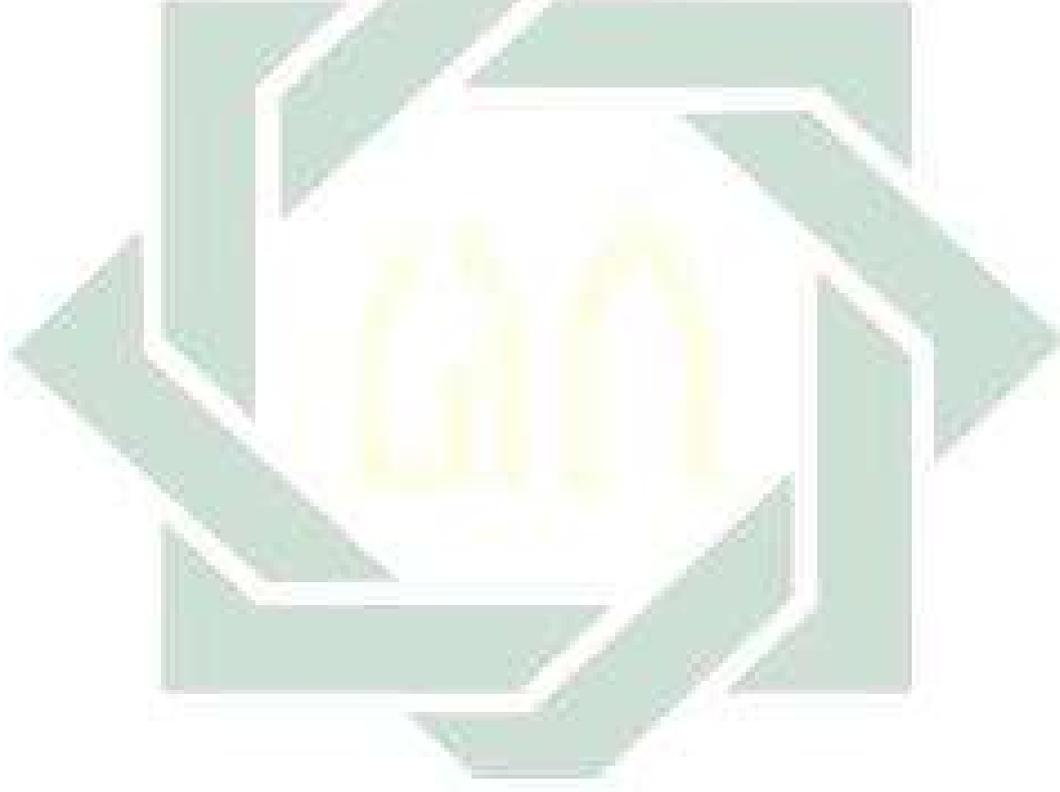
(Sumber : Hasil Sampling Lapangan, 2020)

Berdasarkan Gambar diagram diatas dapat dilihat persentase komposisi sampah di TPA Lempeni dengan rincian sebagai berikut :

- Food Waste = 36%
- Garden = 30%
- Paper = 3%
- Wood & Straw = 7%
- Tekstile = 2%
- Disposal nappies = 11%
- Sawage Sludge = 0%
- Industrial Waste = 0%
- Lain-lain = 11%

Keterangan: untuk sampah Lain-lain terdiri dari sampah plastik, logam, karet, dsb. Dari gambar 4,2 diatas dapat dilihat nilai persentase komposisi sampah tertinggi adalah sampah makanan (food waste) dengan nilai 36%, disusul dengan sampah taman dengan persentase 30 %, Dispossal nappies dan sampah lain-lain sebesar 11 %, sampah kertas sebesar 3%, tekstil sebesar 2% dan untuk sampah industri dan sawage sludge bernilai 0%.

Untuk data hasil sampling Komposisi sampah di TPA Lempeni Kabupaten Lumajang serta perhitungan pesentase komposisi sampah disajikan pada Tabel 4.15 dan Tabel 4.16



Tabel 4.15 Hasil Sampling Komponen DOC komposisi Sampah Tpa Lempeni Lumajang

Parameter/Komponen DOC (Berat Basah)	Berat Sampah (Kg)							
	Hari ke-1	Hari ke-2	Hari ke-3	Hari ke-4	Hari ke-5	Hari ke-6	Hari ke-7	Hari ke-8
<i>Food Waste</i>	40,5	54,5	28	23	32,2	47	60,05	50
<i>Garden</i>	33,1	31,9	20,3	42,3	47,3	41,75	31,25	35,25
<i>Paper</i>	4,9	2,6	1,7	0,4	1,3	2,75	10,5	2
<i>Wood and Straw</i>	5,1	0,6	12,75	16,2	1,6	7	2,95	19,5
<i>Tekstile</i>	2,5	1	7,25	0,2	2,6	3,7	2,7	4
<i>Dispossal napies</i>	10,1	5,6	18,25	8,5	14,5	16	10,3	16,25
<i>Sawage Sludge</i>	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Industrial Waste</i>	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Lain-Lain</i>	16,2	8,1	12,3	16,2	14	13,2	11,8	9,8
Total	112,4	104,3	100,55	106,8	113,5	131,4	129,55	136,8

(Sumber : Hasil Sampling Lapangan, 2020)

Dari Tabel 4.16 diatas kemudian dilakukan perhitungan persentase komposisi sampah perkomponen dengan perhitungan sebagai berikut :

Hari ke-1

$$\begin{aligned} \% \text{ Food waste} &= \frac{\text{berat food waste}}{\text{berat total}} \times 100 \% \\ &= \frac{40,5 \text{ kg}}{112,4 \text{ kg}} \times 100 \% \\ &= 0,360 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \% \text{ Garden} &= \frac{\text{berat garden}}{\text{berat total}} \times 100 \% \\ &= \frac{33,1 \text{ kg}}{112,4 \text{ kg}} \times 100 \% \\ &= 0,294 \end{aligned}$$

Tabel 4.16 Persentase Komponen DOC komposisi Sampah TPA Lempeni Lumajang

Parameter/Komponen DOC (Berat Basah)	persentase Komposisi Sampah (%)								Rata-Rata
	Hari ke-1	Hari ke-2	Hari ke-3	Hari ke-4	Hari ke-5	Hari ke-6	Hari ke-7	Hari ke-8	
<i>Food Waste</i> (sampah makanan)	0,360	0,523	0,278	0,215	0,284	0,358	0,464	0,365	0,356
<i>Garden</i> (Sampah taman)	0,294	0,306	0,202	0,396	0,417	0,318	0,241	0,258	0,304
<i>Paper</i> (Kertas)	0,044	0,025	0,017	0,004	0,011	0,021	0,081	0,015	0,027
<i>Wood and Straw</i> (Kayu dan sedotan)	0,045	0,006	0,127	0,152	0,014	0,053	0,023	0,143	0,070
<i>Tekstile</i> (Tekstil)	0,022	0,010	0,072	0,002	0,023	0,028	0,021	0,029	0,026

Parameter/Komponen DOC (Berat Basah)	persentase Komposisi Sampah (%)								Rata-Rata
	Hari ke-1	Hari ke-2	Hari ke-3	Hari ke-4	Hari ke-5	Hari ke-6	Hari ke-7	Hari ke-8	
<i>Disposal napies</i> (Popok sekali pakai)	0,090	0,054	0,182	0,080	0,128	0,122	0,080	0,119	0,107
<i>Savage Sludge</i> (Limbah Lumpur)	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
<i>Industrial Waste</i> (sampah industri)	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Lain-Lain	0,144	0,078	0,122	0,152	0,123	0,100	0,091	0,072	0,110
Total	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00

(Sumber : Hasil Sampling Lapangan, 2020)

Dari Tabel 4.16 dapat diketahui nilai persentase komposisi sampah untuk sampah makanan nilai terbesar terdapat pada sampling hari ke-2 dengan nilai persentase 0,523 % dan nilai persentase terkecil terdapat pada hari ke-4 yakni sebesar 0,215% dan memperoleh rata-rata sebesar 0,356%.

4.4 Proyeksi Timbulan Sampah

Perhitungan proyeksi dapat dilakukan dengan cara melakukan perkalian antara jumlah penduduk hasil proyeksi Dari Tabel 4.7 dengan rata-rata jumlah timbulan sampah (liter/orang/hari) pada Tabel 4.13, dari data tersebut dapat dilakukan perkiraan jumlah volume timbulan sampah pada tahun 2020-2025 dengan perhitungan proyeksi timbulan sampah di TPA Lempeni Kabupaten Lumajang:

$$\begin{aligned} \text{Volume Timbulan Sampah 2020} &= \text{Timbulan sampah rata-rata (L/org/hari)} \\ &\quad \times \text{Jumlah penduduk Lumajang tahun} \\ &\quad 2020 \times \text{persentase pelayanan} \times \text{jumlah} \\ &\quad \text{hari dalam setahun} \\ &= 0,29 \text{ kg/org/hari} \times 1.141.344 \text{ jiwa} \times 38\% \\ &\quad \times 365 \text{ hari} \\ &= 58.572.63 \text{ kg/tahun} \end{aligned}$$

Tabel 4.17 Proyeksi Timbunan Sampah masuk TPA Lempeni 2020-2026

Tahun	Jumlah Penduduk	Timbunan Sampah Rata-Rata (Kg/org/Hari)	Jumlah hari dalam setahun	persentase pelayanan	Volume Timbunan Sampah		
					Jumlah Timbunan Sampah (kg/tahun)	Jumlah Timbunan Sampah (Mg/Tahun)	Jumlah Timbunan Sampah (Gg/Tahun)
2016	1.033.698	0,29	365	31,50%	34.466.333,99	34.466,33	34,466
2017	1.036.812	0,29	365	31,50%	34.570.163,31	34.570,16	34,570
2018	1.039.794	0,4	365	31,50%	47.820.126,06	47.820,13	47,820
2019	1.128.777	0,43	365	31,50%	55.805.888,30	55.805,89	55,806
2020	1.141.344	0,37	365	38%	58.572.633,46	58.572,63	58,573
2021	1.154.051	0,37	365	44%	68.576.015,00	68.576,02	68,576
2022	1.166.899	0,37	365	51%	80.370.775,31	80.370,78	80,371
2023	1.179.891	0,37	365	57%	90.826.222,33	90.826,22	90,826
2024	1.193.027	0,37	365	63%	101.504.514,64	101.504,51	101,505
2025	1.206.309	0,37	365	63%	102.634.594,97	102.634,59	102,635
2026	1.219.739	0,37	365	63%	103.777.256,81	103.777,26	103,777
2027	1.233.319	0,37	365	63%	104.932.640,26	104.932,64	104,933

Tahun	Jumlah Penduduk	Timbulan Sampah Rata-Rata (Kg/org/Hari)	Jumlah hari dalam setahun	persentase pelayanan	Volume Timbulan Sampah		
					Jumlah Timbulan Sampah (kg/tahun)	Jumlah Timbulan Sampah (Mg/Tahun)	Jumlah Timbulan Sampah (Gg/Tahun)
2028	1.247.050	0,37	365	63%	106.100.886,94	106.100,89	106,101
2029	1.260.934	0,37	365	63%	107.282.140,05	107.282,14	107,282
2030	1.274.972	0,37	365	63%	108.476.544,42	108.476,54	108,477

(Sumber : Hasil Analisis, 2020)

Berdasarkan hasil perhitungsn Tabel diatas dapat diketahui bahwa jumlah timbulan sampah di TPA Lempeni pada 10 tahun mendatang yaitu pada tahun 2025 sebesar 102.63 Gg/tahun.

4.5 Perhitungan Sisa Masa Layanan TPA Lempeni

TPA Lempeni mempunyai luas lahan total sebesar 6,69 hektar yang terbagi menjadi 2 zona dengan rincian sebagai berikut :

Luas lahan zona 1 = 1,95 hektar (19.500 m²)

Kapasitas Zona 1 = 85.500 m³

Luas lahan zona 2 = 2 hektar (20.000 m²)

Kapasitas Zona 2 = 90.000 m³

Secara umum Masa layanan TPA adalah 20 tahun, Menurut RENSTRA-DLH Lumajang tahun 2018-2023 masa layanan TPA Lempeni kabupaten Lumajang adalah 10 tahun (5 tahun tiap zona) yang berarti TPA Lempeni diperkirakan akan tutup/berhenti beroperasi pada Tahun 2025.

Berikut ini hasil perhitungan sisa masa layanan TPA Lempeni Lumajang berdasarkan kondisi eksisting lapangan :

a. Menghitung Sisa Luas lahan

$$\begin{aligned}
 \text{Luas sisa luas lahan} &= \text{Kapasitas } \textit{landfill} \text{ untuk sampah} \\
 &- \text{Total volume sampah tahun 2017 s.d tahun 2018} \\
 &= (85.500 \text{ m}^3 + 90.000 \text{ m}^3) - \\
 &\quad (92.010 + 132.553,10) \\
 &= 175.500 \text{ m}^3 - 224.563,10 \text{ m}^3 \\
 &= -49.063,10 \text{ m}^3
 \end{aligned}$$

b. Menghitung masa layanan tahun 2019

$$\begin{aligned}
 \text{Masa Layanan TPA} &= \frac{\text{Sisa Lahan setelah tahun 2018}}{\text{Volume sampah perbulan pada tahun 2029}} \\
 &= \frac{-49.063,10 \text{ m}^3}{11.089,17 \text{ m}^3/\text{bulan}} \\
 &= - 4,24 \text{ bulan}
 \end{aligned}$$

Berdasarkan hasil perhitungan dengan menggunakan data kapasitas landfill dan jumlah timbulan sampah per tahun diatas dapat dilihat bahwa masa layanan TPA Lempeni sudah habis pada tahun 2019 dengan hasil perhitungan - 4,24 bulan. Akan tetapi berdasarkan kondisi lapangan sisa masa layanan TPA Lempeni yang semula direncanakan 5 tahun tiap zona melebihi jangka waktu tersebut, Hal itu dapat dilihat pada Gambar 4.5 dibawah ini dimana dapat terlihat sisa lahan untuk zona 1 masih cukup luas untuk menampung sampah di TPA Lempeni untuk beberapa tahun kedepan:



Gambar 4.5 Lahan TPA Lempeni Zona 1

(Sumber : Dokumentasi lapangan, 2020)

4.6 Perhitungan Potensi Gas Metana dengan LandGEM

Input data pada LandGEM memiliki beberapa tahapan perhitungan dan pengumpulan data antara lain: data tahun awal TPA beroperasi, Tahun TPA tutup, data proyeksi timbunan sampah TPA, pemilihan parameter default, tahap perhitungan kemudian didapatkan hasil beserta grafiknya.

Perhitungan potensi gas metana di TPA Lempeni menggunakan model LandGEM V-302 dengan menggunakan parameter default CAA dan inventory, Parameter model CAA lebih umum digunakan dikarenakan default ini lebih sesuai digunakan, karena memuat nilai spesifik dari *New Source Performance Standards (NSPS)/Emission Guidelines (EG)* dan *National Emission Standards for Hazardous Air Pollutants (NESHAP)*, sedangkan untuk default inventory mempunyai nilai yang kurang spesifik karena hanya berdasarkan pada faktor emisi dari data berbagai uji lapang TPA-TPA di U.S. yang dikumpulkan oleh EPA di dalam *Compilation of Air Pollutant Emission Factors (AP-42)*. (USEPA, 2005)

Berdasarkan kondisi wilayah kabupaten Lumajang dengan rata-rata temperatur sebesar 30°C, dan curah hujan tinggi maka parameter default yang akan digunakan adalah Default CAA-Konvensional (diasumsikan tidak ada tambahan air lindi). Semakin tinggi nilai Konstanta (K) maka semakin cepat pula laju pembentukannya, nilai K yang digunakan pada default CAA Konvensional adalah 0,05 per tahun sedangkan untuk inventory default adalah 0,04 per tahun, sedangkan untuk nilai kapasitas pembentukan metana (Lo) pada default CAA-Konvensional adalah 170 m³/mg, sedangkan untuk inventory default adalah 100 m³/mg, untuk nilai pada parameter default lain dapat dilihat pada Tabel 2.5. berikut ini gambar input default model LandGEM V-302 default CAA-Konvensional:

Year	Input Units (Mg/year)	Calculated Units (short tons/year)
2016	47.682,98	52.451
2017	47.682,98	52.451
2018	51.406,64	56.547
2019	48.019,02	52.821
2020	69.653,94	76.619
2021	86.554,06	95.209
2022	107.305,81	118.036
2023	127.893,16	140.682
2024	150.336,43	165.370
2025	152.010,13	167.211
2026		
2027		
2028		

Gambar 4.3 User Input model LandGEM

(Sumber : Hasil Analisis, 2020)

Setelah memasukkan user input pada model LandGEM, selanjutnya memasukkan data proyeksi Timbulan sampah dengan satuan mg/tahun seperti pada gambar diatas, untuk data lebih jelasnya disajikan pada Tabel 4.18 berikut:

Tabel 4.18 Input Proyeksi Timbulan Sampah

Year	(Mg/year)	(short tons/year)
2016	34.466,33	37.912,97
2017	34.570,16	38.027,18
2018	47.820,13	52.602,14
2019	55.805,89	61.386,48
2020	58.572,63	64.429,90
2021	68.576,02	75.433,62
2022	80.370,78	88.407,85
2023	90.826,22	99.908,84
2024	101.504,51	111.654,97
2025	102.634,59	112.898,05

(Sumber : Hasil Analisis, 2020)

Setelah input data selesai dapat dilakukan perhitungan potensi gas metana di TPA Lempeni dengan persamaan rumus sebagai berikut:

$$Q_{CH_4} = \sum_i^n \sum_{j=0,1}^1 K L_0 \left(\frac{m_i}{10}\right) e^{-kte_j} \dots\dots\dots 4.10$$

Dengan keterangan: QCH4 = jumlah gas metan yang dihasilkan dalam tahun perhitungan (m3/tahun); n = tahun perhitungan – tahun awal sampah masuk TPA; k = laju pembentukan metan (1/tahun); L0= kapasitas potensial pembentukan metan (m3/Mg); Mi = berat sampah yang diterima pada tahun ke=i (Mg); t_{ij} = umur dari sektor ke-j dimana sampah dengan berat Mi diterima pada tahun ke-i.

Hasil perhitungan potensi emisi gas metana di TPA Lempeni dengan perangkat lunak LandGEMv302 untuk parameter CAA defaults sebesar 4,23 Gg/tahun dan untuk parameter inventory defaults sebesar 2,06 Gg/tahun, Hal ini menunjukkan cadangan atau potensi kandungan metana yang berada di TPA Lempeni, berdasarkan pada proses pembentukan metana dari proses dekomposisi bahan organik secara anaerob yang terjadi di timbunan sampah (lapisan bagian dalam TPA). Untuk proses perhitungan dan grafik lengkapnya dapat dilihat pada lampiran 7 dan lampiran 8. Berikut hasil perhitungan methane generate default CAA dan Inventory dapat dilihat pada Tabel 4.19 untuk grafiknya disajikan pada Gambar 4.4

Tabel 4.19 Hasil perhitungan gas metana dengan LandGEM

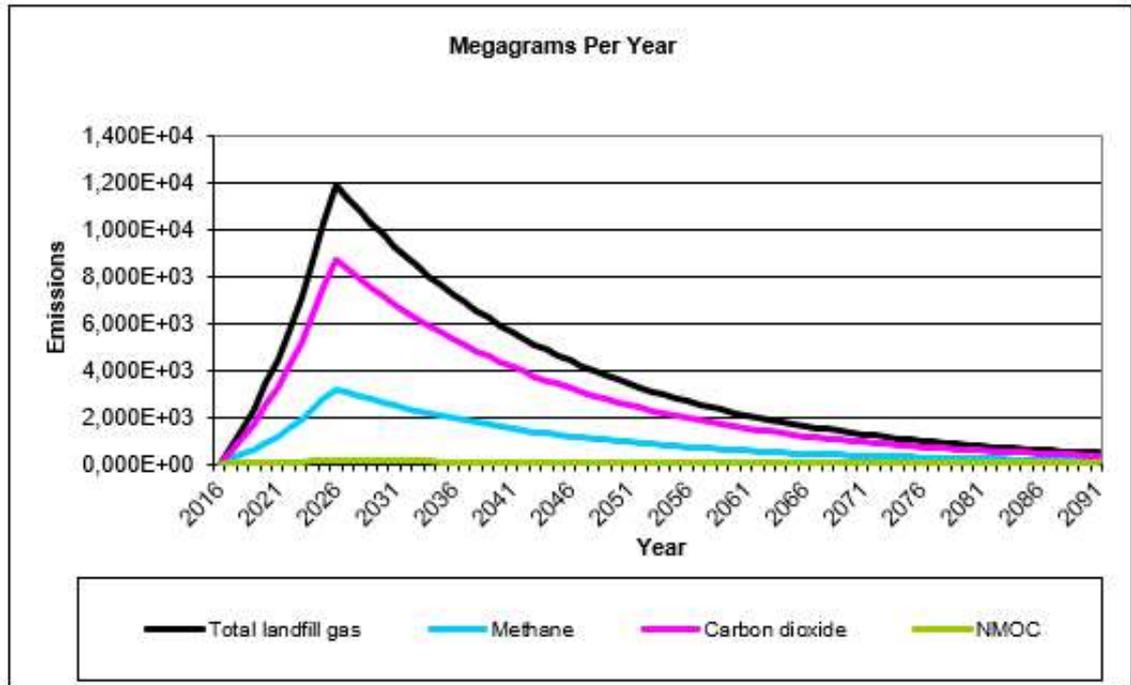
Tahun	Methane generate (Gg/tahun)	
	CAA-Konvensional	Inventory default
2016	0,00	0,00
2017	0,19	0,09
2018	0,37	0,18
2019	0,62	0,30
2020	0,90	0,43
2021	1,18	0,57

Tahun	Methane generate (Gg/tahun)	
	CAA-Konvensional	Inventory default
2022	1,50	0,72
2023	1,88	0,91
2024	2,29	1,11
2025	2,74	1,33
2026	3,17	1,55
2027	3,02	1,49
2028	2,87	1,43
2029	2,73	1,37
2030	2,60	1,32

(Sumber : Hasil Analisis, 2020)

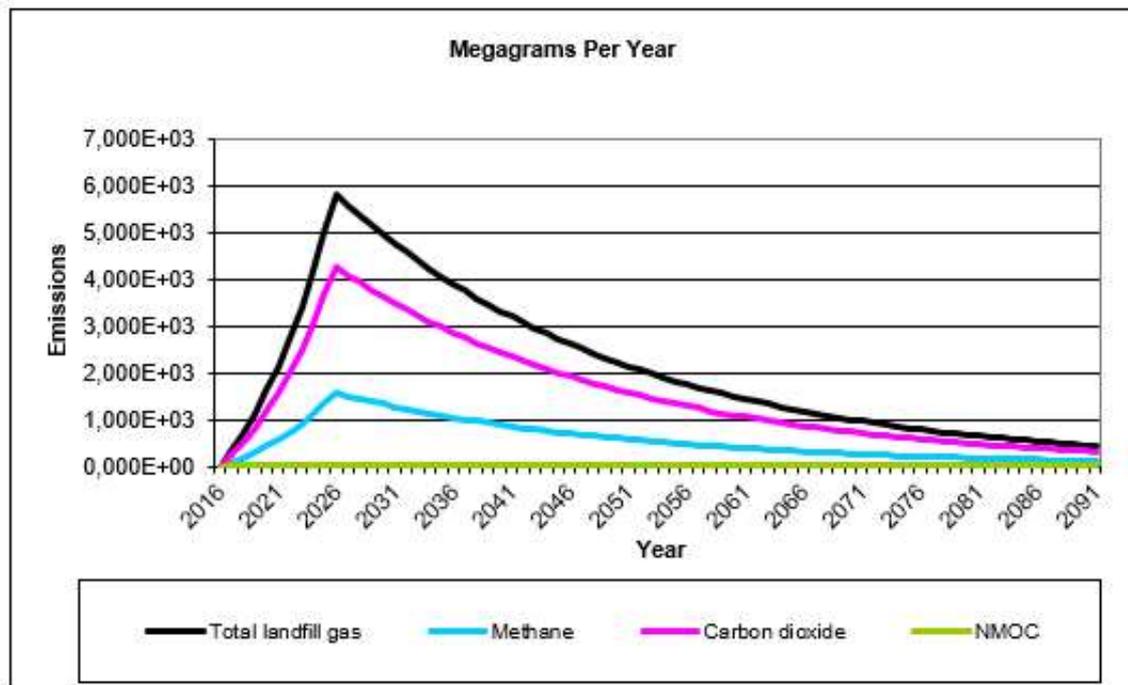
Dari Tabel 4.20 diatas dapat dilihat nilai *methane generate* terbesar adalah tahun 2026 dengan emisi gas metana sebesar 3,17 Gg/tahun untuk default CAA-Konvensional dan sebesar 1,55 Gg/tahun untuk Default Inventory yakni setahun setelah TPA Lempeni berhenti beroperasi/tutup, menurut USEPA (2005) batas waktu produksi gas metana pada model LandGEM adalah 80 tahun atau lebih jika nilai gas metana masih belum bernilai nol.

A. Grafik hasil model LandGEM Default CAA-Konvensional



(Sumber : Hasil Analisis, 2020)

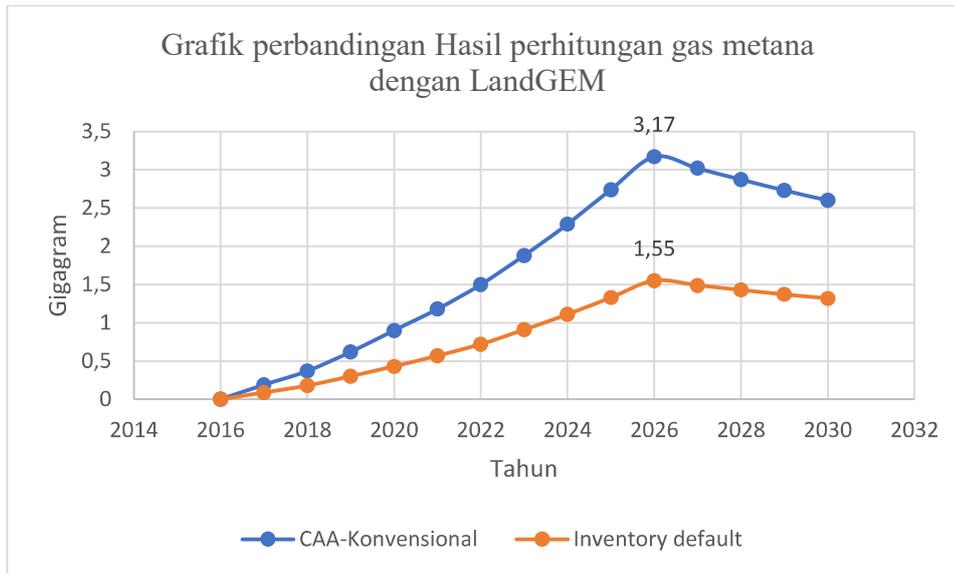
B. Grafik hasil model LandGEM Inventory Default



Gambar 4.5 Grafik Hasil perhitungan gas metana dengan LandGEM

(Sumber : Hasil Analisis, 2020)

Berikut ini grafik perbandingan pendugaan emisi gas metan dengan model landGEM Default CAA-Konvensional dan Inventory Default disajikan pada Gambar 4.6:



Gambar 4.6 Grafik perbandingan Hasil perhitungan gas metana dengan LandGEM

(Sumber : Hasil Analisis, 2020)

Dari Gambar 4.6 dapat diketahui nilai puncak emisi gas metan berada pada tahun 2026 dengan emisi gas metana sebesar 3,17 Gg/tahun untuk default CAA-Konvensional dan sebesar 1,55 Gg/tahun untuk Default Inventory.

4.7 Validasi Hasil dengan Model IPCC

Perhitungan produksi gas metana pada penelitian ini selain menggunakan LandGEM juga menggunakan model IPCC *Guideline 2006* dengan menggunakan ketelitian *tier 2*, untuk data aktivasi berupa komposisi sampah yang diambil dari proses sampling sampah di TPA Lempeni, Produksi gas metana dihitung menggunakan rumus 3.9.

$$\text{Emisi gas metana tahun ke-n} = [\text{CH}_4 \text{ Generated} - R] \times (1 - \text{OX}) \dots\dots\dots 4.11$$

Keterangan :

$\sum \text{CH}_4 \text{ generated}$ = CH₄ yang terbentuk pada satu tahun hasil degradasi organik jenis tertentu yang tersimpan dalam sampah (DDOC)

R = Recovery CH₄ di TPA

OX = Faktor Oksidasi

Menurut Jaisyullah (2017) Perhitungan potensi gas metana di TPA dapat dilakukan dengan memilih salah 1 dari 3 skenario sesuai dengan sampah yang masuk dan ditimbun di TPA Lempeni. Berikut ini 3 skenario antara lain:

1. Skenario 1 yaitu sampah yang masuk kedalam TPA langsung ditimbun.
2. Skenario 2 yaitu sampah yang masuk adalah sampah yang telah mengalami proses reduksi di sumber menggunakan metode komposting. Komposting berguna untuk mengurangi timbulan sampah dapur yang masuk ke TPA.
3. Skenario 3 yaitu sampah yang masuk ke adalah sampah yang mengalami proses reduksi di sumber berupa composting untuk sampah organik dan sampah plastik, kaca, dan kertas akan di daur ulang.

Perhitungan potensi gas Metana dengan model IPCC memiliki beberapa Tahapan antara lain:

A. Tahap 1 : Input Parameter

Daerah penelitian berada di Asia Tenggara. Perhitungan ini menggunakan pendekatan berdasarkan komposisi sampah. Angka yang dipilih untuk DOC menggunakan default dari IPCC. Oxidation Factor yang dipilih adalah 0,1 dikarenakan TPA Lempeni menggunakan tanah sebagai material penutupnya.

B. Tahap 2 : Penentuan Metane Correction Factor

C. Tahap 3 : Input Aktivitas Data

D. Tahap 4 : Data Jumlah Limbah Yang Dideposisi (Timbun) di TPA

E. Tahap 5 : Hasil Hitungan Emisi CH₄ dari Timbunan Sampah di TPA

Perhitungan emisi gas metana pada penelitian ini menggunakan skenario 1 dengan mempertimbangkan sampah yang masuk ke TPA Lempeni langsung ditimbun tanpa adanya proses komposting atau daur ulang di sumber. Berikut ini Uraian perhitungan emisi gas metana untuk sampah makanan (*Food waste*) pada tahun 2017 yaitu :

$$\begin{aligned}
 \text{A. DDOCm terdeposit} &= \text{Berat sampah} \times \text{DOC} \times \text{DOCf} \times \text{MCF} \\
 &= 7,245 \text{ Gigagram} \times 0,15 \times 0,4 \times 0,4 \\
 &= 0,174 \text{ Gigagram}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{B. DDOCm terdekomposisi} &= \text{DDOCm terdeposit} \times (1-\text{ek}) \\
 &= 0,174 \text{ Gigagram} \times 0,71 \\
 &= 0,123 \text{ Gigagram}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{C. CH}_4 \text{ akumulasi} &= \text{DDOCm dekomposisi} \times 16/12 \times \text{fraksi metan} \\
 &= 0,123 \text{ Gigagram} \times 1,33 \times 0,5 \\
 &= 0,084 \text{ Gigagram}
 \end{aligned}$$

Gas metana yang telah dihasilkan oleh masing masing komposisi sampah kemudian dijumlahkan. Jumlah gas metan dari komposisi sampah tersebut dihitung kembali dikarenakan adanya faktor koreksi metan. Faktor koreksi metan (Ox) yang digunakan adalah 0,1. Perhitungan emisi gas metan untuk tahun 2017 yaitu:

$$\begin{aligned}
 \text{D. Emisi gas metan} &= [\text{CH}_4 \text{ Generated} - \text{R}] \times (1 - \text{OX}) \\
 &= [(0,084+0,044+0,004+0,005+0,002+0,020+0+0) \\
 &\quad - 0] \times (1-0,1) \\
 &= 0,142 \text{ Gigagram}
 \end{aligned}$$

Berikut ini hasil perhitungan gas metana dengan IPCC disajikan pada Tabel 4.21

Tabel 4.20 Hasil perhitungan emisi gas metana

Tahun	Methane emission (Gg)
2016	0,000
2017	0,142
2018	0,251
2019	0,391
2020	0,531
2021	0,652
2022	0,789
2023	0,949
2024	1,118
2025	1,295
2026	1,441
2027	1,562
2028	1,665
2029	1,754
2030	1,834

(Sumber : Hasil Analisis, 2020)

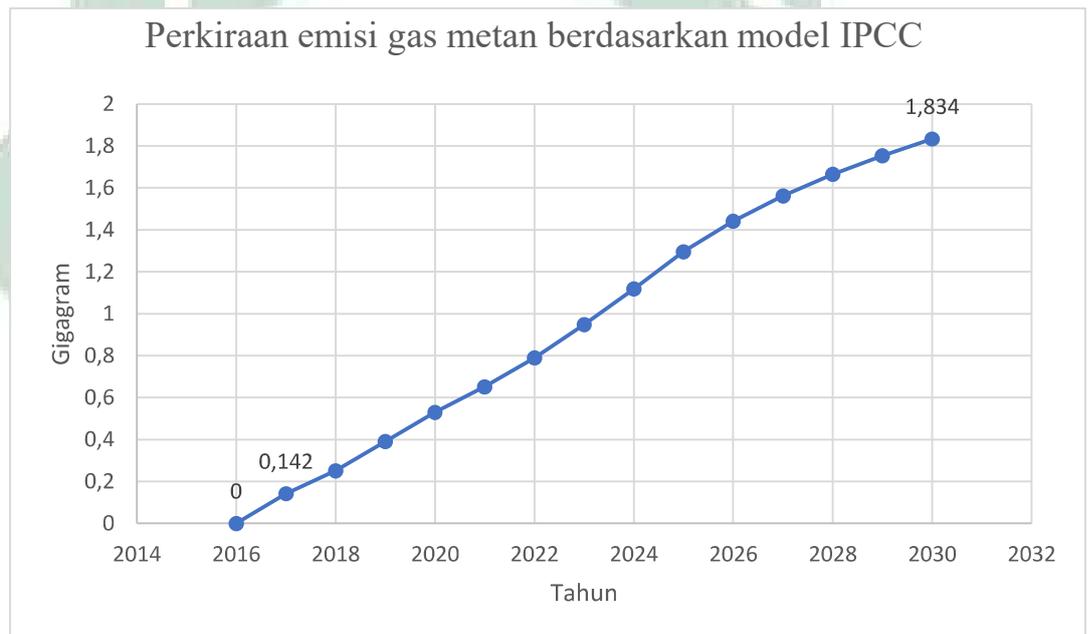
Dari Tabel 4.21 dapat diketahui emisi gas metana mengalami peningkatan seiring meningkatnya timbulan sampah yang masuk ke TPA. Pada tahun 2017 emisi gas metana sebesar 0,142 Gigagram atau setara dengan 142 ton sedangkan pada tahun 2030 emisi gas metana sebesar 1,834 Gigagram atau setara dengan 1.834 ton. Perhitungan berdasarkan komposisi sampah disajikan pada Tabel 4.22

Tabel 4.21 Hasil perhitungan emisi gas metana berdasarkan komposisi sampah

Year	Food (Gg)	Garden (Gg)	Paper (Gg)	Wood (Gg)	Textile (Gg)	Nappies (Gg)	Sludge (Gg)	Industrial (Gg)	Total (Gg)	Methane recovery (Gg)	Methane emission (Gg)
2016	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,1	0
2017	0,084	0,044	0,004	0,005	0,002	0,02	0	0	0,158	0,1	0,142
2018	0,141	0,082	0,007	0,01	0,003	0,036	0	0	0,279	0,1	0,251
2019	0,213	0,131	0,012	0,016	0,005	0,058	0	0	0,435	0,1	0,391
2020	0,279	0,183	0,018	0,024	0,007	0,08	0	0	0,59	0,1	0,531
2021	0,331	0,23	0,023	0,031	0,009	0,101	0	0	0,725	0,1	0,652
2022	0,39	0,282	0,029	0,04	0,012	0,124	0	0	0,877	0,1	0,789
2023	0,46	0,343	0,036	0,05	0,014	0,151	0	0	1,055	0,1	0,949
2024	0,533	0,408	0,044	0,061	0,018	0,179	0	0	1,242	0,1	1,118
2025	0,607	0,476	0,052	0,074	0,021	0,209	0	0	1,44	0,1	1,295
2026	0,66	0,535	0,06	0,086	0,024	0,235	0	0	1,601	0,1	1,441
2027	0,698	0,586	0,068	0,098	0,027	0,258	0	0	1,735	0,1	1,562
2028	0,727	0,631	0,075	0,11	0,03	0,278	0	0	1,85	0,1	1,665
2029	0,749	0,67	0,082	0,121	0,033	0,295	0	0	1,95	0,1	1,754
2030	0,767	0,705	0,089	0,132	0,035	0,31	0	0	2,037	0,1	1,834

(Sumber : Hasil Analisis, 2020)

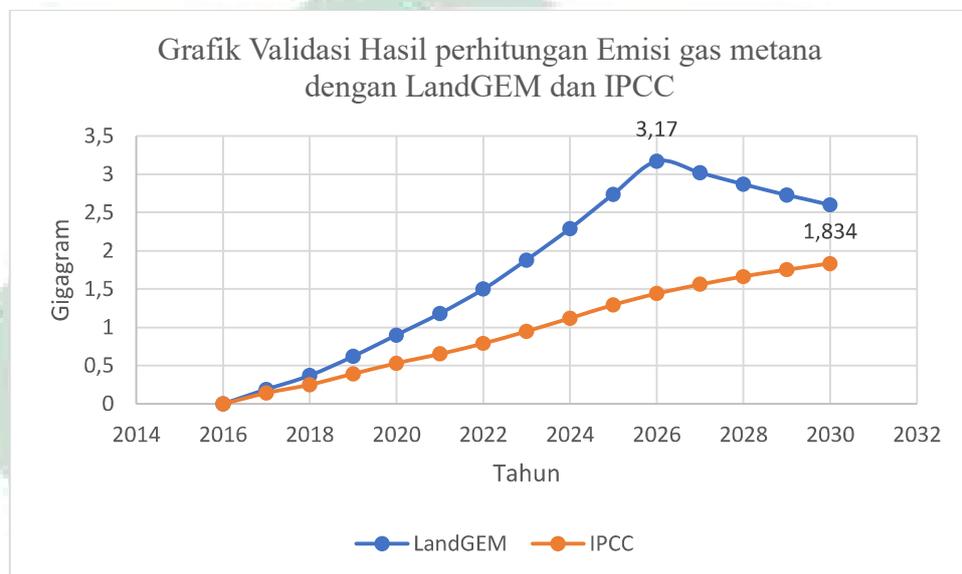
Berdasarkan Tabel 4.22 diatas dapat diketahui bahwa Sampah makanan menghasilkan emisi gas metana terbesar yaitu 0,767 Gg atau setara dengan 7670 ton. Sampah Taman menjadi terbesar kedua dengan emisi gas metan sebesar 0,705 Gg untuk nilai terbesar ketiga adalah sampah *nappies* (popok) dengan emisi gas metan sebesar 0,310 Gg. Untuk sisanya Sampah tekstil sebesar 0,035, sampah Kayu = 0,132 Gg, Sampah Kertas = 0,089 Gg, sedangkan untuk sampah industri dan sludge hasilnya nol dikarenakan TPA Lempeni untuk saat ini masih belum menerima sampah industri yang ada di Kabupaten Lumajang sedangkan untuk sludge tidak dihitung dikarenakan di TPA Lempeni sudah terbangun instalasi pengolahan Lindi. Untuk grafik Perkiraan emisi gas metan berdasarkan model IPCC dapat dilihat pada gambar 4.7 berikut ini:



Gambar 4.7 Perkiraan emisi gas metan berdasarkan model IPCC

Sumber : Hasil analisis, 2020

Dari Gambar 4.7 diatas dapat dilihat nilai emisi gas metan mengalami kenaikan tiap tahunnya, mencapai nilai emisi tertinggi pada tahun 2030 dengan nilai 1,834 Gg dan terendah pada tahun 2017 dengan nilai 0,142 Gg. Pada perhitungan ini nilai emisi gas metan semakin naik tiap tahunnya dikarenakan model IPCC menggunakan orde nol, akan tetapi beberapa tahun setelahnya nilai emisi gas akan mengalami penurunan dikarenakan sampah yang didegradasi akan habis setelah TPA mengalami penutupan. Berikut Grafik validasi hasil model landGEM dan IPCC dapat dilihat pada Gambar 4.8



Gambar 4.8 Grafik Validasi Hasil perhitungan emisi gas metana dengan LandGEM dan IPCC

Sumber : Hasil analisis, 2020

Dari Gambar 4.7 dapat diketahui hasil perhitungan emisi gas metan dengan model LandGEM dan IPCC memiliki range yang tidak terlalu besar, model LandGEM mempunyai nilai emisi gas metan yang lebih besar dan mencapai nilai puncak pada tahun 2026 yakni setahun setelah penutupan sedangkan untuk model IPCC nilai emisi gas metan terus cenderung stabil dikarenakan model ini menggunakan rumus orde nol sedangkan LandGEM menggunakan Orde 1.

4.8 Penentuan Pemanfaatan Gas Metana di TPA

4.8.1 Pemanfaatan Gas Metana Menjadi Energi Listrik

Secara sosial ekonomi, adanya pengolahan energi gas landfill dapat menciptakan lapangan kerja penghasilan yang baru, dan dapat menghemat biaya pemakaian bahan bakar. Sebagai contoh, proyek pengolahan energi dari gas landfill di Amerika Serikat dapat mengurangi emisi metan sebesar 14 juta m³/ton setara karbon. Keuntungannya adalah setara dengan penanaman 18 juta area hutan, atau mengurangi emisi tahunan dari 13 juta mobil. Sementara 600 tempat pembuangan akhir di Amerika Serikat yang berpotensi menghasilkan listrik dari gas metana, ternyata berdasar perhitungan dapat menghasilkan bagi 1 juta rumah, sehingga tidak harus menggantungkan diri pada perusahaan penyedia listrik milik negara (Qosim, 2017).

Berdasarkan hasil analisa (Jaisyullah, 2017) Teknologi terbaik untuk melakukan konversi gas metana menjadi listrik adalah Teknologi internal Combustion Engine. Menurut penelitian EPA (2015) secara menyeluruh di Amerika Serikat, mendapatkan hasil bahwa 1 juta ton sampah dapat dikonversikan menjadi 0,8 Megawatt listrik. Berdasarkan Tabel 4.18 tentang proyeksi timbulan sampah di TPA Lempeni, maka dapat dihitung besarnya jumlah listrik yang dapat dikonversikan dari sampah. Hasil konversi gas metan menjadi listrik dapat dilihat pada Tabel 4.23. berikut ini perhitungan konversi gas metana menjadi listrik pada tahun 2017:

Jumlah sampah tahun 2017 = 34.466 Megagram

$$\begin{aligned}\text{Konversi sampah jadi listrik} &= \frac{\text{Jumlah Sampah tahun 2017}}{1.000.000 \text{ ton}} \times 0,8 \text{ MW} \\ &= \frac{34.466 \text{ ton}}{1.000.000 \text{ ton}} \times 0,8 \text{ MW} \\ &= 0,028 \text{ MegaWatt Listrik}\end{aligned}$$

Tabel 4.22 Konversi Gas metana menjadi listrik berdasarkan EPA

Tahun	Jumlah Timbulan Sampah (Ton/Tahun)	Konversi ke Listrik (Mega Watt)
2016	34.466	0,028
2017	34.570	0,028
2018	47.820	0,038
2019	55.806	0,045
2020	58.573	0,047
2021	68.576	0,055
2022	80.371	0,064
2023	90.826	0,073
2024	101.505	0,081
2025	102.635	0,082
2026	103.777	0,083
2027	104.933	0,084
2028	106.101	0,085
2029	107.282	0,086
2030	108.477	0,087
Total Potensi		0,965

(Sumber : Hasil Analisis, 2020)

Teknologi yang digunakan pada penelitian ini adalah teknologi Internal Combustion Engine dengan sistem flaring yang dilengkapi dengan fasilitas heat recovery untuk meningkatkan efisiensi produksi listrik. Teknologi flaring dibutuhkan untuk mengolah emisi gas metan yang terproduksi dari proses degradasi sampah di TPA. Flaring merupakan teknologi pembakaran emisi gas metan dengan pencampuran dengan oksigen untuk membuat terjadinya pembakaran sempurna. Menurut Damanhuri & Padmi, (2010) Flaring digunakan untuk membakar gas metan dan karbondioksida sehingga menjadi gas yang tidak berbahaya bagi lingkungan. Sistem enclosed flare membutuhkan suhu 1000 °C dan

harus dipertahankan dalam jangka waktu yang lama. Dalam penelitian yang dilakukan oleh Partha (2010) mengenai pembangunan PLTSa di TPA Suwung Bali, penelitian menggunakan teknologi gasifikasi yang memiliki efisiensi alat pembangkitan sebesar 45% dari 175.135,81 ton/tahun sampah menghasilkan listrik dengan daya sebesar 6,872 MW. Berikut ini gambar teknologi Internal Combustion Engine :



Gambar 4.9 teknologi Internal Combustion Engine

(Sumber: EPA, 2015)

Menurut Tsatsarelis, *dkk.*, (2015) Prinsip kerja dari teknologi ini yaitu dengan cara memicu gas dari TPA dengan oksigen di dalam ruang pembakaran. Teknologi ini cenderung mudah dibangun dan dapat beroperasi dalam jangka waktu yang cukup lama yakni selama kurang lebih 20 tahun penggunaan (dengan perawatan rutin). Teknologi ini memiliki kekurangan yakni tingkat kebisingan yang dihasilkan dari proses pembakaran cukup tinggi yakni berkisar antara 80 – 110 db sehingga diperlukan teknologi untuk meredam kebisingan tersebut. Rumus perhitungan energi listrik yang dihasilkan dari gas metana sebagai berikut:

$$Pg = \frac{Qt \times H_0}{3600} \dots\dots\dots 4.12$$

Keterangan

Pg = Daya yang dihasilkan (kW)

Qt = Produksi gas LFG (m³/jam)

Ho = Nilai kalor LFG (kJ/m³)

Produksi gas metana yang digunakan pada perhitungan ini adalah hasil perhitungan Model LandGEM Default CAA-Konvensional yang disajikan pada Tabel tabel 4.20. Nilai kalor (Ho) didapatkan mengacu pada penelitian yang dilakukan oleh Naranayan dkk. (2007) yaitu berkisar antara 16.785 kJ/m³ hingga 20.495 kJ/m³. Berikut perhitungan konversi gas metana menjadi listrik pada tahun 2017:

Diketahui : Produksi gas metan tahun 2017 = 0,264 (m³/jam)

Nilai kalor gas metan = 16.785 kJ/m

Ditanya : Pg..?

Jawab :

$$Pg = \frac{Qt \times H_0}{3600} \dots\dots\dots 4.12$$

$$Pg = \frac{0,264 \frac{m^3}{jam} \times 16,785 KJ/m}{3600}$$

$$= 21,087 \text{ kW}$$

$$= 0,0211 \text{ Megawatt}$$

Berikut ini Tabel Hasil Konversi Gas metana menjadi listrik disajikan dibawah ini:

Tabel 4.23 Hasil Konversi Gas metana menjadi listrik

Tahun	Emisi gas metana (Gg/tahun)	Potensi listrik	
		(Kilowatt)	(Megawatt)
2016	0	0,000	0,00000
2017	0,19	0,155	0,00015
2018	0,37	0,302	0,00030
2019	0,62	0,502	0,00050
2020	0,9	0,728	0,00073
2021	1,18	0,955	0,00095

Tahun	Emisi gas metana (Gg/tahun)	Potensi listrik	
		(Kilowatt)	(Megawatt)
2022	1,5	1,216	0,00122
2023	1,88	1,517	0,00152
2024	2,29	1,851	0,00185
2025	2,74	2,216	0,00222
2026	3,17	2,568	0,00257
2027	3,02	2,443	0,00244
2028	2,87	2,323	0,00232
2029	2,73	2,210	0,00221
2030	2,6	2,102	0,00210
Total Potensi		21,087	0,0211

(Sumber : Hasil Analisis, 2020)

Dari Tabel 4.24 diatas dapat diketahui bahwa Total Potensi energi listrik dari gas metana di TPA Lempeni sebesar 21,087 Kilowatt atau 0,021 Megawatt. Berdasarkan data dari PLN (2020) Tarif Listrik per Kwh untuk pelanggan golongan rendah adalah Rp. 1.444,7 per kwh, apabila potensi gas metana di TPA Lempeni dimanfaatkan maka akan menghasilkan potensi energi listrik yang bernilai sekitar Rp. 38.633.728, dalam penelitian yang dilakukan Jaisyuallah (2017) di TPA Benowo Total potensi listrik 13,309 Megawatt atau bernilai sebesar Rp.19.277.512. berikut perhitungan nilai rupiah potensi listrik di TPA Lempeni:

A. Nilai Total potensi listrik berdasarkan EPA (2015)

Nilai potensi Listrik = Total Potensi Listrik x harga listrik per kWh

$$= 954,974 \text{ kWh} \times \text{Rp. } 1.444,7$$

$$= \text{Rp. } 1.393.520,64$$

B. Nilai Total potensi listrik berdasarkan Combusting Engine

$$\begin{aligned}\text{Nilai potensi Listrik} &= \text{Total Potensi Listrik} \times \text{harga listrik per kWh} \\ &= 21,087 \text{ kWh} \times \text{Rp. 1.444,7} \\ &= \text{Rp. 30.464,33}\end{aligned}$$

4.8.2 Pemanfaatan Gas Metana Menjadi Biogas

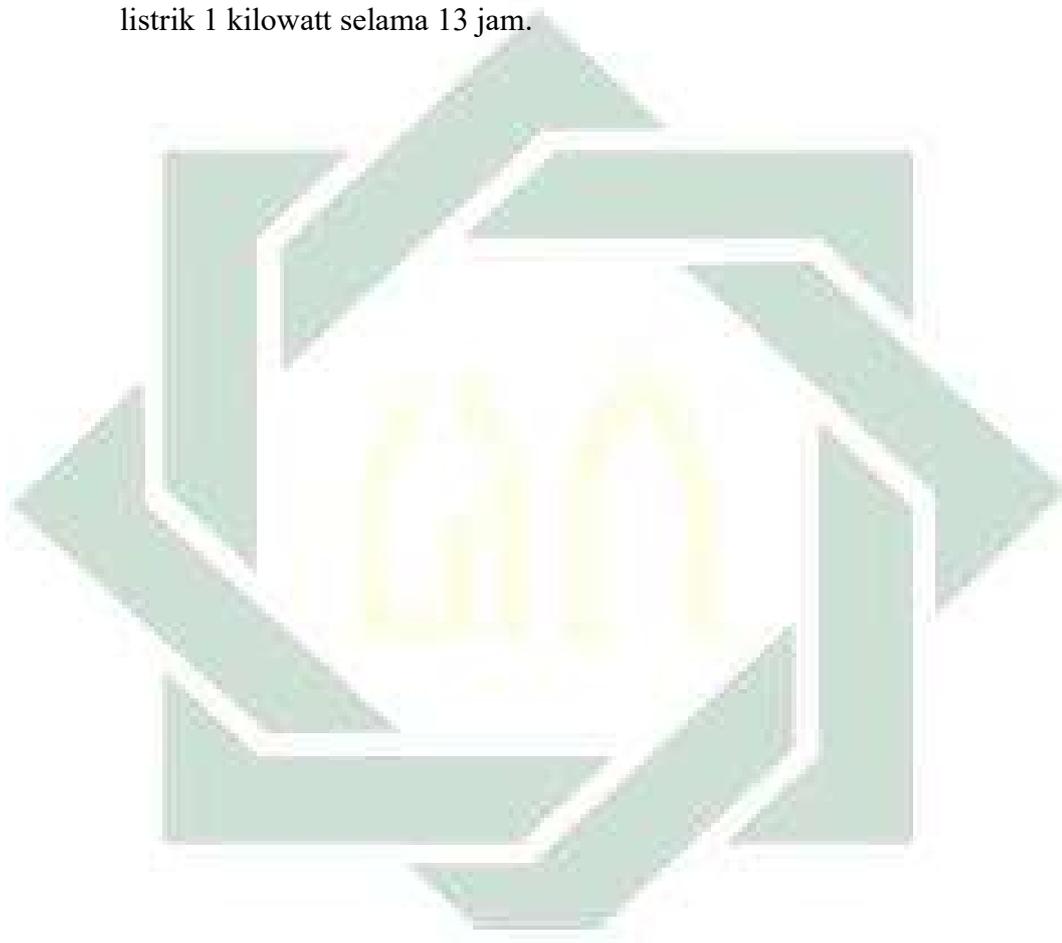
Landfill Gas (Biogas) Landfill gas merupakan gas yang dihasilkan oleh berbagai limbah organik padat yang dibuang di TPA. Sampah ditimbun lalu dikompaksi. Dalam proses anaerobik, bahan organik terdekomposisi lalu terurai oleh bakteri sehingga terbentuk gas landfill. Gas ini kemudian berkumpul dan naik terlepas ke atmosfer (Qosim, 2017).

Ada beberapa jenis reaktor biogas yang dikembangkan diantaranya adalah reaktor jenis kubah tetap (Fixed Dome), reaktor terapung (Floating Drum), dan reaktor balon. Dari ke tiga jenis digester biogas yang sering digunakan adalah jenis kubah tetap (Fixed Dome) dan jenis Drum mengambang (Floating Drum). Beberapa tahun terakhir ini dikembangkan jenis reaktor balon yang banyak digunakan sebagai reaktor sederhana dalam skala kecil. di TPA Lempeni metode pengolahan biogas yang digunakan adalah metode digaster yang disalurkan dengan pipa gas dengan sistem pump.

Pemanfaatan gas metana sebagai biogas sebenarnya sudah dilakukan di TPA Lempeni yakni dimanfaatkan untuk menyalakan kompor gas di TPA, akan tetapi pemanfaatannya tidak bertahan lama dikarenakan faktor teknis (berupa kebocoran Pipa) maupun non teknis (belum adanya anggaran biaya perbaikan pipa) dilapangan. di TPA Lempeni sendiri terjadi beberapa permasalahan tentang sistem perpipaan gas di TPA Lempeni, seperti: kebocoran pipa gas, pipa outlet yang bengkok serta beberapa permasalahan teknis lain yang menyebabkan sistem perpipaan gas metana di TPA Lempeni tidak beroperasi dengan

baik. Padahal potensi gas metana di TPA Lempeni bisa dibbilang cukup besar yakni sebesar 2,17 Gg/tahun gas metana.

Dalam penelitian lain yang dilakukan Sri Wahyono (2014) di TPA Kota Probolinggo dengan sistem instalasi gas menggunakan sistem aktif dengan bantuan suction blower. Pada tahun 2014 pemanfaatan gas metan sebesar 1,24 ton/tahun dapat digunakan untuk menyalakan kompor gas dengan diameter 4 inchi selama 22-23 jam dan menggerakkan genset listrik 1 kilowatt selama 13 jam.



BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Dari hasil pembahasan diatas dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Berdasarkan hasil sampling di TPA Lempeni dan hasil analisis didapatkan hasil sebagai berikut: Rata-rata Timbulan Sampah sebesar 0,37 Kg/org/hari atau 2,04 Liter/org/hari. Rata-rata Densitas Sampah sebesar 181,70 kg/m³, sedangkan untuk Komposisi TPA Lempeni persentase komposisi sampah terbesar adalah sampah makanan (36%) dan persentase terkecil sampah kertas dan tekstil (3%).
2. Menurut RENSTRA-DLH Lumajang tahun 2018-2023 masa layanan TPA Lempeni kabupaten Lumajang adalah 10 tahun (5 tahun tiap zona) yang berarti TPA Lempeni diperkirakan akan tutup/berhenti beroperasi pada Tahun 2025 sedangkan berdasarkan hasil perhitungan masa layanan TPA Lempeni berakhir pada tahun 2019 dengan hasil perhitungan -4,24 bulan.
3. Hasil perhitungan estimasi besar produksi gas metana yang diproduksi dari proses *Landfilling* di TPA Lempeni mendapatkan hasil tertinggi pada tahun 2026 yakni setahun setelah penutupan TPA dengan emisi gas metana sebesar 3,17 Gg/tahun untuk default CAA-Konvensional dan sebesar 1,55 Gg/Tahun untuk default Inventory dan untuk validasi hasil Model IPCC sebesar 1,44 Gg/Tahun.
4. Gas metana di TPA Lempeni dapat dimanfaatkan menjadi energi listrik dan biogas, Konversi gas metana menjadi listrik menggunakan Teknologi Internal Combustion Engine dengan Total potensi daya listrik sebesar 954,974 kWh Kilowatt atau 0,965 Megawatt yang bernilai sekitar Rp. 1.393.520,64.

5.2 Saran

Berikut ini beberapa saran yang berkaitan dengan penelitian iini untuk penelitian mendatang :

1. Sebaiknya untuk penelitian selanjutnya sampling sampah dilakukan selama 2 musim yakni musim kemarau dan penghujan agar didapat hasil yang lebih akurat.
2. Pemilihan teknologi pengelolaan emisi gas metan menjadi listrik seharusnya mempertimbangkan aspek finansial.



DAFTAR PUSTAKA

- Ainuddin, N. I. (2019). Perencanaan Pengelolaan Persampahan Di kampus UIN Sunan Ampel Surabaya. *Tugas Akhir*.
- Al-Qur'an dan terjemahannya. (2008). Departemen Agama RI. Bandung: Diponegoro.
- Arief Fadhillah, H. S. (2011). Kajian Pengolahan Sampah Kampus . *Jurnal Modul Vol. 11 No. 2*, 62-71.
- Artur B. Gallion, S. E. (1194). *Pengantar Perancangan Kota : Desain dan Perencanaan Kota, Jilid 2*. Jakarta: Erlangga.
- Aryo Sasmito, I. A. (2016). Potensi Produksi Gas Metana Dari Kegiatan Landfilling di TPA Muara Fajar. *Seminar Nasional Teknik Kimia –Teknologi Oleo Petro Kimia Indonesia*, 169-174.
- Badan Pusat Statistik Kabupaten Lumajang. (2018). *Kabupaten Lumajang Dalam Angka 2018*. Lumajang: Badan Pusat Statistik Kabupaten Lumajang.
- Badan Pusat Statistik Kabupaten Lumajang. (2019). *Kabupaten Lumajang Dalam Angka 2019* Lumajang: Badan Pusat Statistik Kabupaten Lumajang.
- Badan Pusat Statistik Kabupaten Lumajang. (2020). *Kabupaten Lumajang Dalam Angka 2020*. Lumajang: Badan Pusat Statistik Kabupaten Lumajang.
- Chairil Saleh, H. P. (2014). Analisa Efektifitas Pengelahan Limbah Lindi di TPA Sapit Urang Kota Malang . *Jurnal Teknik Pengairan, Vol. 5, No. 1*.
- D.Deepa, K. K. (2019). Evaluating of MSW management in the Pursuit of Climate Change Mitigation by LandGEM model in Chidambaram Town. *International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering VOL. 8 Issue. 1*, 2893-2897.
- Damanhuri, E., & Padmi, T. (2010). *Pengolahan Sampah, Diktat Kuliah*. bandung: Program Studi Teknik Lingkungan FTSL ITB.

- Damanhuri, E., & Padmi, T. (2014). *Diktat Pengolahan Sampah*. Bandung: Teknik Lingkungan Institut Teknologi Bandung (ITB).
- Diana M. Caecedo-Concha, J. J.-C.-Q. (2019). The Potential of Methane Production Using Aged Landfill Waste in Developing Countries: a Case of Study Colombia. *Cogent Engineering*, 1-14.
- Dobiki, J. (2018). Analisis Ketersediaan Prasarana Persampahan di Pulau Kumo dan Pulau Kakara di Kabupaten Halmahera Utara. *Jurnal Spasial Vol. 5 NO. 2*, 220-228.
- EPA. (2015). Landfill Methane Utilization. U.S. Environmental Protection Agency, Washington, DC, USA.
- George Tchobanoglous, H. T. (1993). *Integrated Solid Waste Management : Engineering Principles and Management Issues*. New York: McGraw Hill Publishing Company.
- Hamed Biglary, S. R. (2017). Estimating The amount Of methane gas generate from the solid waste using the LandGEM software, Sistan and Baluchistan. *Journal of Global Pharma Technology*, 34-41.
- Hasad, A. (2011). Verifikasi dan Validasi dalam Simulasi Model. *Institut Pertanian Bogor*.
- Herfi Rahmi, A. S. (2017). Analisis Produksi Gas Metana (CH₄) dan Karbon Dioksida (CO₂) dari Tempat Pembuangan Akhir Kota Pekanbaru. *Jom FTEKNIK Volume 4 No 1*, 1-8.
- Howard S Peavy, D. R. (1985). *Environmental Engineering 1st Edition*. New York: McGraw Hill Publishing Company.
- Indarto, A. M. (2007). Pengaruh Kematangan Sampah Terhadap produksi gas metana (CH₄) di TPA Puti Cempo Mojosari.
- Isworo Pujotomo, M. N. (2017). Pengelolaan Emisi Gas Landfill (Biogas) Sebagai Energi Terbarukan. *Jurnal Sutet Vol. 7 No.1 Januari - Mei 2017*, 1-67.

- IPCC. (2006). IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Vol 5, Waste, Chapter 3, Solid Waste Disposal.
- Jaisyullah, U. A. (2017). Program Pengelolaan Emisi Gas Rumah Kaca Di TPA Benowo. *Tugas Akhir*.
- Monice, P. (2018). Analisis Pemanfaatan Energi Dari Pengolahan Metode Landfill Di Tempat pemrosesan akhir Muara Fajar. <http://joernal.umsb.ac.id/index.php/RANGTEKNIKJOURNAL> Vol. 1 No.2 , 216-220.
- Musrida, R. (2013). Kajian Timbulan dan Komposisi Sampah Sebagai Dasar Pengelolaan Sampah di Kampus Universitas Bhayangkara Jakarta Raya . *Journal of Env. Engineering & Waste Management, Vol. 2, No. 2*, 69-78.
- Naranayan, G. dan Shresta, S. O. B. (2007). Landfill Gas – A Fuel for Internal Combustion Engine Applications. Western Michigan University, Kalamazoo, MI, USA.
- Rakesh Kumar, A. S. (2014). Formulating LandGEM Model For Estimation of Lanfill Gas Under Indian Scenario. *International Journal of Enviromental Technology and Management VOL. 17, NOS 2/3/4*, 293-299.
- Saeid Fallahizadeh, M. R. (2019). Estimation of Methane Gas by LandGEM model from Yasuj Municipal Solid Waste Lanfill, Iran. *MethodsX*, 391-398.
- Sahil, J. (2016). Sistem Pengelolaan dan Penanggulangan Sampah di Kelurahan Dufa-Dufa Kota Ternate. *Jurnal Bioedukasi Vol. 4 No. 2*, 478-487.
- Santiabudi, F. (2010). Kuantifikasi Emisi Metana Dari TPA Galuga Cibungbulang Bogor Jawa Barat.
- Sari, A. M., T.Lando, A., & Mustari, A. S. (2016). Estimasi Metana (CH₄) Dari TPA Tamangapa .

- Satyani, N. A. (2010). Karakteristik Limbah Padat Berdasarkan Sifat Fisik (Berat Jenis dan Kadar Air) Serta Kimia (Kadar zvolatile, Kadar Abu, Karbon, Nitrogen, Sulfur, dan Kalium) di Tempat Pembuangan Akhir . *Skripsi*.
- SNI19-3964. (1994). *tentang Metode Pengambilan dan Pengukuran Contoh*. Badan Standarisasi Nasional.
- Tagor, Kristanto, G. B., & Novita, A. (2013). Studi Perbandingan Emisi Gas Metana dari Sektor Persampahan Kota Depok Antara Skenario Business AS USUAL (Bau) yang Mengacu Pada RPJMD dan Skenario Optimalisasi dan Intervensi .
- Thomas Plocoste, S. J.-K.-H. (2016). Estimation of Methane Emission From a Waste Dome in a Tropical Insular Area . *International Journal of Waste Resour Vol. 6 Issue. 2, 1-7*.
- Undang Undang Republik Indonesia Nomor 18 tahun 2008 Tentang Pengelolaan Sampah.
- Wahyono, S. (2015). Studi Potensi dan Kualitas Gas dari Tempat Pemrosesan Akhir Sampah Kota Probolinggo. *Jurnal Teknologi Lingkungan VOL. 16 No. 1, 15-20*.