POTENSI DAMPAK LINGKUNGAN DARI PEMBENTUKAN GAS LANDFILL DI TEMPAT PEMROSESAN AKHIR (TPA) LEMPENI, KABUPATEN LUMAJANG

TUGAS AKHIR

UIN SUNAN AMPEL
S U R A B A Y A

DISUSUN OLEH:

VIQRISYAM RIZKY YUNIARTA

H75216071

PROGRAM STUDI TEKNIK LINGKUNGAN

FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI

UNIVERSITAS ISLAM NEGERI SUNAN AMPEL

SURABAYA

2021

PERNYATAAN KEASLIAN

Saya yang bertanda tangan dibawah ini,

Nama : Viqrisyam Rizky Yuniarta

NIM : H75216071

Program Studi : Teknik Lingkungan

Angkatan : 2016

Menyatakan bahwa saya tidak melakukan plagiat dalam penulisan tugas akhir saya yang berjudul "POTENSI DAMPAK LINGKUNGAN DARI PEMBENTUKAN GAS *LANDFILL* DI TEMPAT PEMROSESAN AKHIR (TPA) LEMPENI, KABUPATEN LUMAJANG". Apabila suatu saat nanti terbukti saya melakukan tindakan plagiasi, maka saya bersedia menerima sanksi yang telah ditetapkan.

Demikian pernyataan keaslian ini saya buat dengan sebenar-benarnya.

Surabaya, 13 Januari 2021

Yang menyatakan

METERAI TEMPEL

TGL. 20

EA162AHF811990732

6000

ENAM RIBU RUPIAH

(Viqrisyam Rizky Yuniarta)

NIM. H75216071

LEMBAR PERSETUJUAN PEMBIMBING

Tugas Akhir ini ditulis oleh:

Nama	: Viqrisyam Rizky Yuniarta
NIM	: H75216071
Judul Tugas Akhir	: Potensi Dampak Lingkungan Dari Pembentukan Gas *Landfill* di Tempat Pemrosesan Akhir (TPA) Lempeni, Kabupaten Lumajang

Tugas Akhir ini telah diperiksa dan disetujui untuk diujikan.

Surabaya, 3 Januari 2021

Dosen Pembimbing 1	Dosen Pembimbing 2
Shinfi Wazna Auvaria, M. T.	Yusrianti, M.T.
NIP: 198603282015032001	NIP: 198210222014032001

PENGESAHAN TUGAS AKHIR

Tugas Akhir Viqrisyam Rizky Yuniarta ini telah dipertahankan
di depan tim penguji tugas akhir
di Surabaya, 4 Januari 2021

Mengesahkan,

Dosen Penguji 1

Shinfi Wazna Auvaria, M. T.
NIP: 198603282015032001

Dosen Penguji 2

Yusrianti, M.T.
NIP: 1982102220140320001

Dosen Penguji 3

Abdul Hakim, M. T.
NIP: 198008062014031002

Dosen Penguji 4

Teguh Taruna Utama, M. T.
NUP: 201603319

Mengetahui,
Dekan Fakultas Sains dan Teknologi
UIN Sunan Ampel Surabaya

Dr. Hj. Evi Fatimatur Rusydiyah, 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: perpus@uinsby.ac.id

LEMBAR PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI
KARYA ILMIAH UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

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

Nama : Viqrisyam Rizky Yuniarta
NIM : H75216071
Fakultas/Jurusan : SAINS DAN TEKNOLOGI/ TEKNIK LINGKUNGAN
E-mail address : viqrisyamrizky@gmail.com

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Perpustakaan UIN Sunan Ampel Surabaya, Hak Bebas Royalti Non-Eksklusif atas karya ilmiah :
■ Sekripsi ☐ Tesis ☐ Desertasi ☐ Lain-lain (.....)
yang berjudul :
POTENSI DAMPAK LINGKUNGAN DARI PEMBENTUKAN GAS *LANDFILL* DI TEMPAT PEMROSESAN AKHIR (TPA) LEMPENI, KABUPATEN LUMAJANG.

beserta perangkat yang diperlukan (bila ada). Dengan Hak Bebas Royalti Non-Ekslusif 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, 13 Januari 2021

Penulis

(Viqrisyam Rizky Yuniarta)

ABSTRAK

POTENSI DAMPAK LINGKUNGAN DARI PEMBENTUKAN GAS LANDFILL DI TEMPAT PEMROSESAN AKHIR (TPA) LEMPENI, KABUPATEN LUMAJANG

TPA Lempeni adalah salah satu TPA di Indonesia yang beroperasi di Kabupaten Lumajang, Jawa Timur. TPA Lempeni mulai dioperasikan pada tahun 2016 dengan sistem *sanitary landfill*. Penimbunan sampah di TPA Lempeni menghasilkan gas *landfill* yang berpotensi menimbulkan dampak lingkungan. Penelitian ini bertujuan untuk menghitung potensi dampak lingkungan dari pembentukan gas *landfill*. Jumlah dan komposisi gas *landfill* diperkirakan dengan menggunakan model LandGEM dan GasSim. Potensi dampak lingkungan lingkungan dihitung berdasarkan CML IA Baseline V3.05. Secara berturut-turut, berdasarkan Model LandGEM dan GasSim, potensi dampak lingkungan akibat pembentukan gas *landfill* sampai tahun 2156, diperkirakan menimbulkan potensi *Global warming* sebesar 2.154.810 ton CO_2 dan 156.000 ton CO_2, potensi penipisan lapisan ozon (*Ozone* Depletion) sebesar 15,7 ton CFC-11 dan 0,427 ton CFC-11, potensi asidifikasi (*acidification*) sebesar 18,645 ton SO_2, potensi *Photochemical Ozone Creation* sebesar 427 ton Ethylene dan 29,7 ton Ethylene, dan potensi toksisitas terhadap manusia (*Human toxicity*) sebesar 11.361,65 ton 1,4-dichlorobenzene dan 129 ton 1,4-dichlorobenzene. Hasil model LandGEM dan GasSim menunjukkan bahwa puncak pembentukan gas landfill di TPA Lempeni terjadi pada tahun 2025.

Kata kunci: TPA Lempeni, gas *landfill*, Potensi Dampak Lingkungan, LandGEM, GasSim

digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id

ABSTRACT

ENVIRONMENTAL IMPACT ASSESSMENT OF LANDFILL GAS GENERATION IN LEMPENI-MUNICIPAL SOLID WASTE (MSW) LANDFILL, LUMAJANG

Lempeni-Municipal Solid Waste (MSW) Landfill is one of the MSW Landfill in Indonesia which operates in Lumajang Regency, East Java. Lempeni MSW landfill began operating in 2016 with a sanitary landfill system. Landfilling activity at Lempeni-MSW Landfil produces landfill gas which has the potential to cause environmental impacts. This study aims to calculate the potential environmental impact of landfill gas generation. The amount and composition of landfill gas were estimated using the LandGEM and GasSim models. Potential environmental impacts are calculated based on CML IA Baseline V3.05. Based on the LandGEM and GasSim Models, the potential environmental impact due to the formation of landfill gas until 2156, respectively, is estimated to lead to Global Warming potential of 2,154,810 tons CO_2 and 156,000 tons CO_2, Ozone Depletion potential of 15.7 tons of CFC-11 and 0.427 ton of CFC-11, potential for acidification of 18.645 tons SO2, Photochemical Ozone Creation potential of 427 tons of Ethylene and 29.7 tons of Ethylene, and the potential for human toxicity (Human toxicity) of 11,361.65 tons of 1,4-dichlorobenzene and 129 tons of 1,4-dichlorobenzene. The results of the LandGEM and GasSim models show that the peak of landfill gas generation in MSW landfill Lempeni will occur in 2025.

Keywords: *Lempeni-MSW Landfill, Landfill Gas, Environmental Impact Potential, LandGEM, GasSim*

digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id

DAFTAR ISI

PERNYATAAN KEASLIAN ..... **i**
LEMBAR PERSETUJUAN PEMBIMBING ..... **ii**
PENGESAHAN TUGAS AKHIR ..... **iii**
LEMBAR PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI ..... **iv**
KATA PENGANTAR ..... **v**
ABSTRAK ..... **vi**
ABSTRACT ..... **vii**
DAFTAR ISI ..... **viii**
DAFTAR LAMPIRAN ..... **xi**
DAFTAR TABEL ..... **xii**
DAFTAR GAMBAR ..... **xv**
BAB I **1**
1.1. Latar Belakang 1
1.2. Identifikasi Masalah 2
1.3. Rumusan Masalah 2
1.4. Tujuan Penelitian 3
1.5. Ruang Lingkup Penelitian 3
1.6. Manfaat Penelitian 3
BAB II **4**
2.1. Kondisi dan Pengelolaan Sampah di Indonesia 4
2.2. Timbulan Sampah 7
2.3. Komposisi Sampah 9
2.4. Karakteristik Sampah 10
2.5. Pembentukan Gas *Landfill* 11
2.6. Faktor yang Mempengaruhi Pembentukan Gas *Landfill* 13
2.7. Komposisi Gas *Landfill* 15
2.8. Dampak Lingkungan dari Pembentukan Gas *Landfill* 18
2.9. Jenis-Jenis Model Gas *Landfill* 20

digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id

2.10. Model LandGEM 21
2.11. Model GasSim 22
2.12. Integrasi Keilmuan dan Islam dalam Pengelolaan Sampah 25
2.13. Penelitian-Penelitian Terdahulu 27
BAB III 39
3.1. Lokasi Penelitian 39
3.2. Kerangka Penelitian 39
3.3. Pelaksanaan Penelitian 42
3.3.1. Pengumpulan Data Sekunder 42
3.3.2. Pengumpulan Data Primer 42
3.3.3. Pengolahan Data 45
3.3.4. Pemodelan dengan LANDGEM 47
3.3.5. Pemodelan dengan GasSim 52
3.3.6. Perkiraan Potensi Dampak Lingkungan 59
BAB IV 61
4.1. Gambaran Umum Wilayah Kabupaten Lumajang 61
4.2. Kondisi Eksisting Pengelolaan Sampah di Kabupaten Lumajang 62
4.2.1. Sumber Sampah 62
4.2.2. Cakupan Daerah Pelayanan, Persentase Tingkat Pelayanan dan Komposisi Sampah 64
4.2.3. Rencana Pengurangan dan Penanganan Sampah 65
4.3. TPA Lempeni 66
4.4. Komposisi Sampah yang Masuk TPA Lempeni 70
4.5. Kadar Air dari Sampah di TPA Lempeni 72
4.6. Densitas Sampah di TPA Lempeni 74
4.7. Proyeksi Penduduk Kabupaten Lumajang 75

digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id

4.8. Timbulan Sampah Penduduk Kabupaten Lumajang yang Masuk TPA Lempeni 78

4.9. Perhitungan Nilai Infiltrasi Air Hujan di TPA Lempeni 81

4.10. Pembentukan Gas *Landfill* TPA Lempeni berdasarkan Model LandGEM dan Model GasSim 87

4.10.1. Input Data Model LandGEM 87

4.10.2. Input Data Model GasSim 88

4.10.3. Hasil Permodelan Gas *Landfill* 89

4.11. Perhitungan Potensi Dampak Lingkungan dari Pembentukan Gas *Landfill* di TPA Lempeni 95

4.11.1. Potensi pemanasan global (*global warming potential)* 95

4.11.2. Potensi Penipisan Lapisan Ozon (*Ozone Depletion Potential)* 99

4.11.3. Potensi Asidifikasi (*acidification potential)* 103

4.11.4. Potensi *Photochemical Pollution* / *Photochemical Ozone Creation Potential* (POCP) 104

4.11.5. Potensi toksisitas terhadap manusia (*Human toxicity potential)* 109

BAB V 113

5.1. Kesimpulan 113

5.2. Saran 114

DAFTAR PUSTAKA 115

digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id

DAFTAR LAMPIRAN

LAMPIRAN I. Potensi Asidifikasi dan Potensi *Global Warming* berdasarkan CML IA Baseline V3.05 ..... **121**

LAMPIRAN II. Potensi *Ozone Depletion* berdasarkan CML IA Baseline V3.05 ..... **128**

LAMPIRAN III. Potensi *Photochemical Ozone Creation* berdasarkan CML IA Baseline V3.05 ..... **129**

LAMPIRAN IV. Potensi *Human Toxicity* berdasarkan CML IA Baseline V3.05 ..... **133**

LAMPIRAN V. Hasil Sampling Komposisi Sampah di TPA Lempeni **148**

LAMPIRAN VI. Penentuan Koefisien Korelasi dari 3 Metode Proyeksi Penduduk **150**

LAMPIRAN VII. Total gas *landfill* dari model LandGEM **153**

LAMPIRAN VIII. Global Warming Potential (GWP) dari Model LandGEM. **159**

LAMPIRAN IX. Ozone Depletion Potential (ODP) dari Model LandGEM **167**

LAMPIRAN X. Photochemical Ozone Creation Potential (POCP) dari Model LandGEM..... **171**

LAMPIRAN XI. Human Toxicity Potential (HTP) dari Model LandGEM..... **183**

LAMPIRAN XII. Acidification Potential (AP) dari Model LandGEM **191**

LAMPIRAN XIII. Total gas *landfill* dari model GasSim **193**

LAMPIRAN XIV. Global Warming Potential (GWP) dari Model GasSim **197**

LAMPIRAN XV. Ozone Depletion Potential (ODP) dari Model GasSim..... **201**

LAMPIRAN XVI. Photochemical Ozone Creation Potential (POCP) dari Model GasSim **205**

LAMPIRAN XVII. Human Toxicity Potential (HTP) dari Model GasSim..... **213**

LAMPIRAN XVIII. GasSim Model Script..... **217**

LAMPIRAN XIII. Site Plan TPA Lempeni **223**

digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Data Sampah terangkut ke TPA di kota besar Indonesia pada tahun 2017-2018 4
Tabel 2. 2 Data kondisi pengelolaan sampah di Indonesia pada tahun 2017 6
Tabel 2. 3 Data jumlah gas landfill yang dihasilkan dari TPA di Indonesia pada tahun 2017 7
Tabel 2. 4 Timbulan sampah berdasarkan klasifikasi kota 8
Tabel 2. 5 Besarnya timbulan sampah berdasarkan sumber 8
Tabel 2. 6 Contoh Komposisi Sampah Kota di Dunia 9
Tabel 2. 7 Konsentrasi Principal landfill gas constituents pada umumnya 16
Tabel 2. 8 Konsentrasi Trace Landfill Gas Constituents pada umumnya 16
Tabel 3. 1 Komposisi sampah berdasarkan keperluan input untuk model GasSim Lite versi 1.54 43
Tabel 3. 2 Koefisien Runoff berdasarkan karakteristik pemukaan tanah 47
Tabel 3. 3 Nilai Default untuk Methane Generation Rate (k) 48
Tabel 3. 4 Nilai Default untuk Methane Generation Capacity (Lo) 49
Tabel 3. 5 Gas inventory berdasarkan model LANDGEM 50
Tabel 3. 6 Nilai Konduktivitas Hidrolik untuk jenis material cap dan liner 53
Tabel 3. 7 Nilai Default Untuk Konstanta Cellulose Decay Rates 54
Tabel 3. 8 Nilai Default untuk Waste Moisture Content 55
Tabel 3. 9 Konsentrasi Default untuk Trace Gas Inventory dalam model GasSim 55
Tabel 3. 10 Faktor Potensi Untuk Masing-Masing Kategori Dampak 59
Tabel 4. 1 Perkiraan Volume Sampah dan Persentase Pelayanan Sampah untuk Setiap Kecamatan di Kabupaten Lumajang 2017 - 2019 64
Tabel 4. 2 Persentase Tingkat Pelayanan Sampah Eksisting 65
Tabel 4. 3 Persentase & Target Pelayanan Sampah Tahun 2020-2025 66
Tabel 4. 4 Persentase & Target Pelayanan Sampah Tahun 2025-2039 66
Tabel 4. 5 Data sampah yang masuk TPA Lempeni pada tahun 2017 – 2019 67
Tabel 4. 6 Berat komponen sampah yang dibutuhkan untuk sampel sampah 73
Tabel 4. 7 Hasil uji kadar air sampah TPA Lempeni Lumajang 73

digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id

Tabel 4. 8 Hasil sampling dan perhitungan densitas sampah di TPA Lempeni.... 74
Tabel 4. 9 Data Jumlah Penduduk Kabupaten Lumajang Tahun 2001 – 2019..... 75
Tabel 4. 10 Tabel Jumlah Penduduk dan rasio pertambahan penduduk pada tahun 2001-2019 76
Tabel 4. 11 Proyeksi Penduduk Kabupaten Lumajang berdasarkan metode geometri 78
Tabel 4. 12 Data sampah yang masuk TPA Lempni tahun 2017-2019 78
Tabel 4. 13 Hasil perhitungan timbulan sampah Penduduk Kabupaten Lumajang 2017-2019 80
Tabel 4. 14 Perkiraan jumlah sampah yang masuk TPA Lempeni tahun 2016-2024 81
Tabel 4. 15 Curah Hujan Bulanan Stasiun Sememu 82
Tabel 4. 16 Temperatur Bulanan Stasiun Tempeh Kidul 2017-2019 82
Tabel 4. 17 Hasil Perhitungan Indeks Panas dalam Satu Tahun..... 82
Tabel 4. 18 Koefisien Penyesuaian menurut Garis Lintang dan Bulan 83
Tabel 4. 19 Koefisien Penyesuaian dari TPA Diwek untuk tiap bulan..... 84
Tabel 4. 20 Nilai Empiris Koefisien Run-Off 85
Tabel 4. 21 Nilai Run-Off (Ro) untuk tiap bulan..... 85
Tabel 4. 22. Hasil Perhitungan Nilai Infiltrasi dalam satu tahun di TPA Lempeni 86
Tabel 4. 23 Data input bulk waste untuk model LandGEM 87
Tabel 4. 24 Global Warming Potential (GWP) dari komponen gas landfill yang berkontribusi terhadap pemanasan global 96
Tabel 4. 25 Hasil Perhitungan Global Warming Potential TPA Lempeni berdasarkan model LandGEM pada tahun 2017 96
Tabel 4. 26 Ozone depletion Potential (ODP) dari komponen gas landfill yang berkontribusi terhadap penipisan lapisan ozon 100
Tabel 4. 27 Hasil Perhitungan Ozone depletion Potential TPA Lempeni pada tahun 2017..... 100
Tabel 4. 28 Photochemical Ozone Creation Potential (POCP) dari komponen gas landfill yang berkontribusi terhadap Photochemical pollution 105

digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id

Tabel 4. 29 Hasil Perhitungan Photochemical Ozone Creation Potential (POCP) TPA Lempeni pada tahun 2017 berdasarkan Model LandGEM..... 106
Tabel 4. 30 Human Toxicity Potential (HTP) dari komponen gas landfill yang berkontribusi terhadap toksisitas pada manusia..... 109
Tabel 4. 31 Hasil Perhitungan Human toxicicy potential (HTP) TPA Lempeni pada tahun 2017 berdasarkan Model LandGEM..... 110

digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Fase Pembentukan Gas Landfill 11
Gambar 2. 2 Model konseptual dari model GasSim 23
Gambar 3. 1 Kerangka Penelitian 41
Gambar 4. 1 Kondisi Penanganan Sampah di Sumber 63
Gambar 4. 2 Komposisi Sampah di Kabupaten Lumajang 65
Gambar 4. 3 Gambar potongan melintang system liner TPA Lempeni 68
Gambar 4. 4 Kondisi Timbunan Sampah di TPA Lempeni pada tanggal 21 Juni 2020 68
Gambar 4. 5 Kondisi Timbunan Sampah di TPA Lempeni pada tanggal 27 Juni 2020 69
Gambar 4. 6 Kondisi Timbunan Sampah di TPA Lempeni pada tanggal 02 November 2020 69
Gambar 4. 7 Instalasi Pengolahan Gas Metan: (a) Pipa Pengumpul Gas Metan, (b)Ruang Pipa Gas Metan, dan (c) Kompor pemanfaatan gas metan TPA Lempeni 70
Gambar 4. 8 Pipa gas landfill yang patah/terpotong 70
Gambar 4. 9 Komposisi Sampah di TPA Lempeni 71
Gambar 4. 10 Perkiraan total gas landfill dan gas metan TPA Lempeni berdasarkan model LandGEM (dalam Megagram) 90
Gambar 4. 11 Perkiraan total gas landfill dan gas metan TPA Lempeni berdasarkan model LandGEM (dalam meter kubik) 91
Gambar 4. 12 Perkiraan Gas Non-Methan Organic Compound (NMOC) di TPA Lempeni berdasarkan model LandGEM (dalam Megagram) 91
Gambar 4. 13 Perkiraan Gas Non-Methan Organic Compound (NMOC) di TPA Lempeni berdasarkan model LandGEM (dalam Megagram) 92
Gambar 4. 14 Perkiraan total gas landfill, gas metan, dan gas karbon dioksida di TPA Lempeni berdasarkan model GasSim 93
Gambar 4. 15 Perbandingan Todal Gas Landfill dari hasil pemodelan LandGEm dan GasSim 94

digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id

Gambar 4. 16 GWP gas landfill TPA Lempeni dari tahun 2016 sampai 2156 berdasarkan model LandGEM 97
Gambar 4. 17 GWP gas landfill TPA Lempeni dari tahun 2016 sampai 2156 berdasarkan model GasSim 98
Gambar 4. 18 ODP gas landfill TPA Lempeni dari tahun 2016 sampai 2156 berdasarkan Model LandGEM 101
Gambar 4. 19 ODP gas landfill TPA Lempeni dari tahun 2016 sampai 2156 berdasarkan Model GasSim 102
Gambar 4. 20 AP gas landfill TPA Lempeni dari tahun 2016 sampai 2156..... 104
Gambar 4. 21 POCP gas landfill TPA Lempeni dari tahun 2016 sampai 2156 berdasarkan Model LandGEM 108
Gambar 4. 22 POCP gas landfill TPA Lempeni dari tahun 2016 sampai 2156 berdasarkan Model GasSim 108
Gambar 4. 23 HTP gas landfill TPA Lempeni dari tahun 2016 sampai 2156 berdasarkan Model LandGEM 111
Gambar 4. 24 HTP gas landfill TPA Lempeni dari tahun 2016 sampai 2156 berdasarkan Model LandGEM 112

digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id

BAB I
PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Sampah adalah material tidak berguna, tidak bisa digunakan, tidak diinginkan, atau terbuang yang memiliki wujud padat (Singh dkk., 2014). Pengelolaan sampah adalah sebuah proses kompleks yang melibatkan banyak teknologi dan disiplin ilmu yang umumnya berkaitan dengan pengendalian dalam pembentukan, penanganan, pewadahan, pengumpulan, pemindahan, pengangkutan, pengolahan, dan penimbunan sampah (Kreith & Tchobanoglous, 2002). Di Indonesia, payung hukum pengelolaan sampah diatur dalam Undang-Undang Nomor 18 Tahun 2008. Proses akhir dari pengelolaan sampah berakhir pada penimbunan sampah di Tempat Pemrosesan Akhir (TPA). Menurut Permen Pekerjaan Umum RI Nomor 3 Tahun 2013, TPA adalah tempat untuk memproses dan mengembalikan sampah ke media lingkungan.

TPA Lempeni adalah salah satu TPA di Indonesia yang beroperasi di Kabupaten Lumajang, Jawa Timur. TPA Lempeni mulai dioperasikan pada tahun 2016 dengan sistem *sanitary landfill*. TPA Lempeni menampung sampah dari 62 Tempat Penampungan Sementara (TPS) dengan volume rata-rata 39,7 m3/hari (Al-Faurozi, 2019). Penimbunan sampah di TPA Lempeni menghasilkan gas *landfill* yang berpotensi menimbulkan dampak lingkungan.

Gas *landfill* adalah campuran dari beragam gas yang dihasilkan dari penimbunan sampah di TPA (Njoku dkk., 2018). Gas *landfill* terbentuk dari perubahan kimia sampah yang bersifat volatile, reaksi diantara komposisi sampah yang telah ditimbun, dan penguraian sampah secara anaerobik oleh mikroorganisme (Ehrig dkk., 2011). Komponen utama penyusun gas *landfill* adalah gas Metan (CH_4) dan Karbon dioksida (CO_2) dan beragam jenis gas dengan konsentrasi rendah seperti ammonia, sulfida, dan *Non-Methane Volatile Organic Compound* (NMVOC) (Danthurebandara dkk., 2012).

Manajemen gas *landfill* yang tidak memadai dapat menyebabkan berbagai dampak lingkungan. Kandungan gas CH_4 dan CO_2 dalam *landfill* mencapai 45 – 50% dari total gas *landfill*, dimana kedua gas ini merupakan kontributor utama

digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id

terhadap fenomena *Global Warming* (Njoku dkk., 2018). Gas *landfill* juga mengandung senyawa Chlorofluorocarbon (CFC) dan Halocarbon seperti Methyl chloroform dan Dichlorodifluoromethane yang berpotensi menyebabkan penipisan lapisan ozon (Environment Agency, 2004). Selain itu, gas *landfill* juga berpotensi menyebabkan asidifikasi, potensi bau, *photochemical ozone formation*, ekotoksisitas, dan gangguan kesehatan manusia (Danthurebandara dkk., 2012).

TPA Lempeni adalah TPA yang beroperasi pada tahun 2016 dengan sisa umur pakai TPA hingga tahun 2024 (DLH Kabupaten Lumajang, 2019b). Untuk menekan dampak lingkungan dari gas *landfill*, TPA Lempeni memerlukan pengelolaan gas *landfill* yang memadai. Perencanaan pengelolaan gas landfill memerlukan data perkiraan jumlah dan komposisi gas *landfill* yang dihasilkan.

Perkiraan jumlah dan komposisi gas *landfill* dapat diketahui dengan pemodelan gas *landfill*, antara lain model LANDGEM dan GasSim. Selain konsentrasi gas CH_4 dan CO_2, kedua pemodelan tersebut juga dapat memperkirakan konsentrasi ammonia, sulfida, dan *Non-Methane Volatile Organic Compound* (NMVOC) (Majdinasab dkk., 2017). Hasil dari pemodelan dijadikan inventori gas *landfill* untuk menghitung potensi dampak berdasarkan potensi *Global Warming*, penipisan lapisan ozon, asidifkasi, *photochemical ozone formation*, dan toksisitas terhadap manusia.

1.2. Identifikasi Masalah

Adapun masalah yang akan diidentifikasi, yaitu :

1. Jumlah gas *landfill* yang dihasilkan dari penimbunan sampah dii TPA Lempeni
2. Potensi dampak lingkungan dari gas *landfill* TPA Lempeni

1.3. Rumusan Masalah

Rumusan masalah dalam penelitian ini sebagai berikut:

1. Bagaimana jumlah gas *landfill* yang dihasilkan dari penimbunan sampah di TPA Lempeni?
2. Bagaimana potensi dampak lingkungan dari gas *landfill* TPA Lempeni?

digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id

1.4. Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini sebagai berikut :

1. Untuk mengetahui jumlah pembentukan gas *landfill* yang dihasilkan dari penimbunan sampah TPA Lempeni
2. Untuk mengetahui potensi dampak lingkungan dari gas *landfill*.

1.5. Ruang Lingkup Penelitian

Adapun ruang lingkup dalam penelitian ini, yaitu:

1. Lokasi penelitian adalah TPA Lempeni, Lumajang.
2. Proyeksi timbulan sampah dihitung sampai tahun 2024.
3. Jumlah dan Komposisi gas *landfill* dihitung berdasarkan pemodelan LANDGEM dan GasSim Lite versi 1.54 dengan *simulation period* 140 tahun.
4. Potensi dampak lingkungan hanya berdasarkan produksi gas *landfill*.
5. Potensi kerusakan lingkungan dihitung berdasarkan ineventori gas hasil pemodelan LANDGEM dan GasSim Lite versi 1.54.
6. Potensi dampak lingkungan ditinjau dari aspek potensi *Global Warming*, penipisan lapisan ozone, asidifikasi, *photochemical pollution*, dan toksisitas terhadap manusia.
7. Penelitian dilaksanakan pada sekitar bulan Juni - Oktober 2020 dengan kondisi musim penghujan.

1.6. Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini antara lain:

1. Menyediakan informasi kepada pihak pengelola TPA, kalangan akademisi, dan pemerintah Kabupaten Lumajang berkaitan dengan potensi dampak lingkungan dari gas *landfill* di TPA Lempeni, Lumajang
2. Menyediakan bahan pertimbangan dalam menentukan pengembangan pengelolaan sampah di TPA Lempeni

digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id

BAB II
TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Kondisi dan Pengelolaan Sampah di Indonesia

Pada tahun 2016, penduduk Indonesia mencapai 261.115.456 orang, sehingga timbulan sampah yang dihasilkan diperkirakan mencapai 65.200.000 ton per tahun (BPS, 2018). Proyeksi penduduk Indonesia memperkirakan jumlah penduduk yang terus bertambah dan tentunya akan meningkatkan jumlah timbulan sampah. World Bank (2012) menyatakan bahwa peningkatan jumlah timbulan sampah bertambah dengan cepat. Pada tahun 2002, penduduk perkotaan mencapai 2,9 miliar orang dan menghasilkan sekitar 0,64 kg per orang per hari (0,68 miliar ton per tahun) (BPS, 2019). Pada tahun 2012 jumlah penduduk telah meningkat menjadi sekitar 3 miliar penduduk yang menghasilkan 1,2 kg per orang per hari (1,3 miliar ton per tahun) (BPS, 2019). Data pelayanan sampah yang terangkut ke TPA di kota-kota besar Indonesia disajikan dalam Tabel 2.1.

Tabel 2. 1 Data Sampah terangkut ke TPA di kota besar Indonesia pada tahun 2017-2018

Kota	Perkiraan Produksi Sampah per Hari (ton)		Sampah yang terangkut (ton)		Persentase sampah yang terangkut (%)	
	2017	2018	2017	2018	2017	2018
Banda Aceh	235	265,8	209	213	88,9%	80,1%
Medan	1892	2046	1675	1739	88,5%	85,0%
Padang	494	624,24	323	495,5	65,4%	79,4%
Pekanbaru	764,19	1106,19	362,28	715,81	47,4%	64,7%
Jambi	1537,48	1552,31	932,79	1139,7	60,7%	73,4%
Palembang	782,82	825,47	682,82	725,48	87,2%	87,9%
Bengkulu	475,99	774,86	449,57	452,57	94,4%	58,4%
Bandar Lampung	1020	1080	850	900	83,3%	83,3%
Pangkal Pinang	623	682	486	513	78,0%	75,2%
Tanjung Pinang	687,11	704,29	504,5	512,5	73,4%	72,8%

digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id

Kota	Perkiraan Produksi Sampah per Hari (ton)		Sampah yang terangkut (ton)		Persentase sampah yang terangkut (%)	
	2017	2018	2017	2018	2017	2018
DKI Jakarta	7164,53	7164,53	6872,18	6872,18	95,9%	95,9%
Bandung	1500	1600	1120	1289	74,7%	80,6%
Semarang*	5163	5248	4544	4645	88,0%	88,5%
Yogyakarta*	1048	335	1040	254	99,2%	75,8%
Surabaya	2164,44	2206	1617,04	1666,84	74,7%	75,6%
Serang*	1666	1699	620	866	37,2%	51,0%
Denpasar	3657,2	4103,7	3276,55	2958,74	89,6%	72,1%
Mataram	327	334	262	267	80,1%	79,9%
Kupang*	684	793	552	564	80,7%	71,1%
Pontianak*	1802,5	1827,08	1547	1547	85,8%	84,7%
Palangkaraya*	892,5	920,94	435,5	439,52	48,8%	47,7%
Banjarmasin	568	490	545,3	338	96,0%	69,0%
Samarinda	686,56	601,25	595,19	466,83	86,7%	77,6%
Tanjung Selor	751,7	266	751,7	238	100,0%	89,5%
Manado	361307	368900	289045	269297	80,0%	73,0%
Palu*	1058,42	1046	456	468	43,1%	44,7%
Makassar*	6485,65	3186,77	6163,42	2802,54	95,0%	87,9%
Kendari	229	240	130	150	56,8%	62,5%
Gorontalo	137,24	139,84	73,48	72,53	53,5%	51,9%
Mamuju	628,63	644,38	22,57	24	3,6%	3,7%
Ambon	200	185,8	151,6	152,5	75,8%	82,1%
Ternate	44,4	44,57	30,34	32,93	68,3%	73,9%
Manokwari	145,56	148,62	25,23	59,43	17,3%	40,0%
Jayapura	250,8	252	143,11	143,11	57,1%	56,8%

Sumber: (BPS, 2019)

*Data sampah dalam satuan m^3/hari

digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id

Pertambahan jumlah penduduk adalah salah satu faktor naiknya jumlah timbulan sampah. Tahun 2025 perkiraan jumlah penduduk Indonesia adalah sebesar 284.829.000 orang atau bertambah 23.713.544 dari tahun 2016. Jika diasumsikan jumlah sampah yangdihasilkan per tahun adalah sama, maka jumlah sampah yang akan bertambah adalah sebesar 5.928.386 ton (BPS, 2018). Data kondisi pengelolaan sampah di Indonesia pada tahun 2017 disajikan dalam Tabel 2.2.

Tabel 2. 2 Data kondisi pengelolaan sampah di Indonesia pada tahun 2017

Deskripsi	Keterangan
Jumlah sampah rumah tangga yang dihasilkan	20.230.482,70 ton/tahun
Persentase pelayanan sampah masuk TPA	77%
Jumlah sampah rumah tangga yang terkumpul	15.689.707,5 ton/tahun
Persentase sampah rumah tangga yang ditimbun di TPA open dumping	69%
Jumlah sampah rumah tangga yang ditimbun di TPA open dumping	10.825.898,2 ton/tahun
Persentase komponen organic (biodegradable) dalam sampah rumah tangga	41,21%
Jumlah komponen organic (biodegradable) dalam sampah rumah tangga	4.461.352,7 ton/tahun

Sumber: (Andriani & Atmaja, 2019)

Selain pertambahan penduduk, perubahan pola konsumsi penduduk masing-masing wilayah mempengaruhi pertambahan timbulan sampah. Saat ini, Indonesia masuk dalam kategori *lower middle income* (World Bank), sebagai negara yang perekonomiannya terus membaik, maka timbulan sampah yang dihasilkan akan terus meningkat. Peningkatan timbulan sampah ini tidak dapat dihindari, sehingga membutuhkan pengelolaa sampah yang baik untuk menekan dampak lignkungan dari timbulan sampah, seperti pencemaran air, udara, dan tanah; peningkatan gas rumah kaca (GRK), sumber penyakit seperti diare; bencana banjir; dan permasalahan lainnya (BPS, 2018).

Tumpukan sampah menghasilkan limpasan cairan yang disebut *leachate*, yang dapat mencemari sungai, air tanah, dan tanah. Penanganan sampah yang kurang baik akan melepaskan sejumlah besar gas *landfill* yang berkontribusi

digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id

signifikan terhadap peningkatan Gas Rumah Kaca di atmosfer. Data jumlah gas *landfill* yang dihasilkan dari TPA disajikan dalam Tabel 2.3. World Bank memperkirakan 1,6 miliar ton emisi GRK (CO_2e) dihasilkan dari sampah pada tahun 2016. Jumlah tersebut diperkirakan mencapai 5 persen dari emisi GRK global. Tanpa perbaikan sektor penanganan sampah, emisi Gas Rumah Kaca diperkirakan akan meningkat menjadi 2,6 miliar ton CO_2e pada tahun 2050 (BPS, 2018). KLHK memperkirakan emisi Gas Rumah Kaca dari sektor limbah di Indonesia mencapai 120 juta ton CO_2 pada tahun 2017 (BPS, 2019).

Tabel 2. 3 Data jumlah gas landfill yang dihasilkan dari TPA di Indonesia pada tahun 2017

Wilayah	Jumlah gas landfill yang dihasilkan (m^3/jam)
Sumatera	694
Jawa	1725
Bali, NTB, NTT	698
Kalimantan	471
Sulawesi	458
Maluku	244
Papua	234

Sumber: (Andriani & Atmaja, 2019)

2.2. Timbulan Sampah

Banyaknya sampah yang dihasilkan dari sebuah kegiatan akan menentukan banyaknya sampah yang harus dikelola. Timbulan sampah masing-masing sumber atau kegiatan tersebut bervariasi antara satu sama lain. Pada tahun 1993 dikeluarkan SNI S-04-1993-03 tentang *Standar Spesifikasi Timbulan untuk Kota Kecil dan Kota Sedang di Indonesia*, untuk mempermudah perencanaan program pengelolaan sampah (Damanhuri & Padmi, 2015). Sekarang, standar spesifikasi timbulan sampah tertulis dalam SNI 19-3983-1995. Untuk mempermudah perhitungan timbulan sampah, apabila pengamatan lapangan tidak tersedia, timbulan sampah disajikan dalam Tabel 2.4. dan Tabel 2.5.

digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id

Tabel 2. 4 Timbulan sampah berdasarkan klasifikasi kota

No.	Klasifikasi Kota	Volume (liter/orang.hari)	Berat (kg/orang.hari)
1.	Kota Besar* (500.000 – 1.000.000 jiwa)	3,0 – 4,5	0,4 – 0,6
2.	Kota Sedang (100.000 – 500.000 jiwa)	2,75 – 3,25	0,7 – 0,8
3.	Kota Kecil (<100.000 jiwa)	2,5 – 2,75	0,625 – 0,7

sumber: SNI 19-3983-1995

*sumber: (Damanhuri & Padmi, 2015)`

Tabel 2. 5 Besarnya timbulan sampah berdasarkan sumber

No.	Sumber Sampah	Satuan	Volume (liter)	Berat (kg)
1.	Rumah permanen	orang/hari	2,25 – 2,50	0,350 – 0,400
2.	Rumah semi permanen	orang/hari	2,00 – 2,25	0,300 – 0,400
3.	Rumah non permanen	orang/hari	1,75 – 2,00	0,250 – 0,300
4.	Kantor	pegawai/hari	0,50 – 0,75	0,025 – 0,100
5.	Toko/ruko	petugas/hari	2,50 – 3,00	0,150 – 0,350
6.	Sekolah	murid/hari	0,10 – 0,15	0,010 – 0,020
7.	Jalan arteri sekunder	m/hari	0,10 – 0,15	0,020 – 0,100
8.	Jalan kolektor sekunder	m/hari	0,10 – 0,15	0,010 – 0,050
9.	Jalan local	m/hari	0,05 – 0,10	0,005 – 0,025
10.	pasar	m^2/hari	0,20 – 0,60	0,100 – 0,300

Sumber: SNI 19-3983-1995

digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id

Rata-rata timbulan sampah biasanya akan bervariasi dari waktu ke waktu dan berbagai tempat. Menurut Damanhuri & Padmi (2015) variasi timbulan sampah disebabkan oleh beberapa faktor, antara lain:

1. jumlah penduduk dan tingkat pertumbuhan penduduk
2. makin tinggi tingkat hidup masyarakat, maka makin besar pula timbulan sampahnya
3. musim buah-buahan akan menghasilkan sampah yang lebih banyak
4. cara hidup dan mobilitas penduduk
5. di negara barat, debu hasil pembakaran alat pemanas akan bertambah pada musim dingin
6. cara penanganan makanan

2.3. Komposisi Sampah

Komposisi sampah menggambarkan keanekaragaman aktivitas manusia. Komposisi sampah digunakan untuk memilih dan menentukan cara pengoperasian setiap peralatan dan fasilitas pengolah sampah lainnya. Satuan yang biasa digunakan adalah % berat basah (Damanhuri & Padmi, 2015). Berdasarkan SNI 19-3964-1995, komposisi dikelompokkan menjadi 9 kategori, antara lain (1) sampah makanan, (2) sampah taman dan kayu, (3) kertas dan karton, (4) tekstil dan produk tekstil, (5) karet dan kulit, (6) plastic, (7) logam, (8) gelas, dan (9) lain-lain: bahan inert, abu, dan lain-lain. Komposisi sampah dipengaruhi oleh factor cuaca, frekuensi pengumpulan, musim, tingkat social ekonomi, dan kemasan produk (Damanhuri & Padmi, 2015). Komposisi sampah di Indonesia didominasi oleh sampah organic *biodegradable*, dengan komposisi sekitar 65% (Andriani & Atmaja, 2019). Contoh komposisi sampah kota di dunia disajikan dalam 2.6.

Tabel 2. 6 Contoh Komposisi Sampah Kota di Dunia

Komponen (%berat basah)	London	Singapura	Hongkong	Jakarta	Bandung
Organik	28	4,6	9,4	74	73,4
Kertas	37	43,1	32,5	8	9,7
Logam	9	3	2,2	2	0,5
Kaca	9	1,3	9,7	2	0,4

digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id

Komponen (%berat basah)	London	Singapura	Hongkong	Jakarta	Bandung
Tekstil	3	9,3	9,6	-	1,3
Platik/karet	3	6,1	6,2	6	8,6
Lain-lain	11	32,6	29,4	8	6,1

Sumber: (Damanhuri & Padmi, 2015)

2.4. Karakteristik Sampah

Data terkait karakteristik sampah diperlukan untuk memperkirakan cara penanganan sampah, pemanfaatan bahan dan energy yang dikandung, jenis pengolahan yang tepat, dan dampak yang berpotensi ditimbulkan. Karakteristik sampah umumya berkaitan dengan pertimbangan dalam pengambilan sampel dan juga pertimbangan dalam perencanaan proses insenerasi, pengomposan, dan pengurukan (Damanhuri & Padmi, 2015). Karakteristik sampah terbagi menjadi kategori sebagai berikut:

1. Karakteristik fisik, antara lain densitas, kadar air (kelembapan), kadar volatile, karbon tetap (*fixed carbon*), kadar abu, nilai kalor, dan ukuran partikel.
2. Karakteristik kimia, antara lain kandungan C-organik, N-organik, dan Total Fosor.
3. Karakteristik biologi, menggambarkan susunan kimia sampah yang terdiri dari unsur biologi organic (C, H, O, N, S, P). Terkadang juga komponen halogen, seperti klorin. Kandungan logam brat juga terkadang diperlukan bila untuk mengetahui potensi pencemaran sampah.

Densitas sampah merupakan rasio antara berat (basah) dan volume (basah). Berdasarkan Damanhuri &Padmi (2015), densitas sampah berdasarakan sarana pengumpul dan pengangkut diperkirakan sebagai berikut:

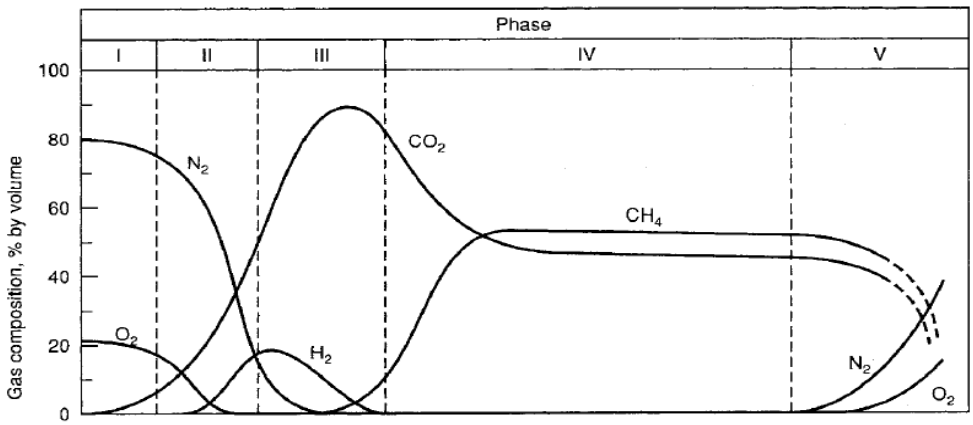
1. Sampah di wadah sampah rumah tangga: 0,01 – 0,20 ton/m^3
2. Sampah di gerobak sampah: 0,20 – 0,30 ton/m^3
3. Sampah di truk terbuka: 0,25 – 0,45 ton/m^3
4. Sampah di TPA dengan pemadatan konvensional: 0,50 – 0,60 ton/m^3

digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id

Kadar air merupakan banyaknya kandungan air di dalam sampah. Kadar air biasanya dinyatakan dalam berat basah. Kadar air sampah sangat bervariasi bergantung pada komposisi sampah, iklim, dan cuaca, curah hujan, dan kelembapan udara. Kadar air menjadi penting karena pengaruhnya terhadap densitas sampah, tingkat kompaksi, perngaruhnya dalam dekomposisi, pelindian komponen sampah, dan nilai kalr dalam insenerasi. Kadar air diperoleh dari penimbangan kehilangan air pada pemanasan 105°C, setelah berat sampah stabil. Uji kadar air pada sampah dibutuhkan waktu bisa lebih dari 24 jam (Damanhuri & Padmi, 2015).

2.5. Pembentukan Gas *Landfill*

Pembentukan gas *landfill* dapat terjadi melalui beberapa cara, yaitu perubahan kimia dari konstituen sampah yang bersifat volatile, reaksi diantara komposisi sampah yang telah ditimbun, dan penguraian sampah organik secara anaerobik oleh methanogen. Pembentukan gas *landfill* akibat aktivitas metanogenik adalah yang paling umum terjadi di TPA. Pembentukan gas *landfill* terjadi secara spontan, sekitar 0,5 – 3 tahun setelah sampah ditimbun di TPA. Pembentukan gas *landfill* akan mencapai nilai maksimumnya dan menurun secara perlahan selama beberapa dekade (Ehrig dkk., 2011). Pembentukan gas *landfill* setidaknya terjadi melalui 5, yaitu Fase I–*Initial adjustment phase*, Fase II–*Transition phase*, Fase III–*Acid phase*, Fase IV-*Methane fermentation phase*, dan Fase V-*Maturation phase* (Kreith & Tchobanoglous, 2002). Fase-fase pembentukan gas *landfill* ditunjukkan dalam Gambar 2.1.



Gambar 2. 1 Fase Pembentukan Gas Landfill

Sumber: (Kreith & Tchobanoglous, 2002)

digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id

Berdasarkan Kreith & Tchobanoglous (2002), fase-fase pembentukan gas metan adalah sebagai berikut:

- Fase I- *Initial adjustment phase*, adalah fase penyesuan awal dimana komponen sampah yang bersifat organik-*biodegradable* mulai mengalami dekomposisi oleh bakteri. Pada fase ini, dekomposisi secara biologi terjadi dalam kondisi aerobik karena tersedianya sejumlah udara yang terperangkap di dalam timbunan sampah.
- Fase II- *Transition phase*, adalah fase transisi, dimana jumlah oksigen mulai menipis dan kondisi anaerobic mulai terbentuk. Karena kondisi *landfill* menjadi anaerobik, nitrat dan sulfat akan tereduksi menjadi gas nitrogen dan Hydrogen sulfida. Pada fase ini mulai terbentuk gas CO_2. Potensi oksidasi-reduksi dapat diketahui dari proses terbentuknya kondisi anaerobik. Reduksi nitrat terjadi pada -50 mV sampai -100 mV. Pembentukan metan terjadi pada potensi oksidasi-reduksi dalam kisaran -150 mV sampai -300 mV. Potensi oksidasi-reduksi yang cenderung menurun, memicu dimulainya metabolisme mikroorganisme yang bertanggungjawab dalam pembentukan gas metan. Aktivitas mikroorganisme ini juga menghasilkan asam organic dan produk sampingan lainnya.
- Fase III–*Acid phase*, adalah fase asam, dimana terjadi peningkatan metabolisme mikroorganisme yang mulai terbentuk di Fase II sebelumnya. Peningkatan metabolisme mikroorganisme ini menghasilkan lebih banyak gas asam organic dan sedikit gas hydrogen. *Acid phase* terjadi dalam 3 tahapan proses, antara lain:
    - Hydrolisis: proses mengubah senyawa dengan berat molekul yang besar, menjadi senyawa yang dapat digunakan oleh mikroorganisme sebagai sumber energy dan *cell carbon*.
    - Asidogenesis: senyawa yang terbentuk dari hasil hydrolysis, dikonversi menjadi senyawa dengan berat molekul yang lebih ringan, menjadi asam asetat, fulvic, dan asam organic kompleks.
    - Pembentukan gas CO_2 dan gas hydrogen.

digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id

- Fase IV—*Methane Fermentation Phase*, adalah fase fermentasi metan dimana kelompok bakteri metanogen akan mengubah gas hydrogen dan asam asetat yang terbentuk di Fase III, menjadi gas metan dan karbon dioksida.
- Fase V-*Maturation Phase*, adalah fase yang terjadi setelah semua materi organic-*biodegradable* telah diubah menjadi gas metan dan karbon dioksida. Pada fase ini, laju pembentukan gas metan menurun drastis karena nutrient dan substrat telah berkurang/habis.

2.6. Faktor yang Mempengaruhi Pembentukan Gas *Landfill*

Gas *landfill* terbentuk melalui aktivitas mikroorganisme yang mulai menguraikan sampah organik secara anaerobik, pada sekitar 3 – 6 bulan setelah sampah ditimbun (US Environmental Protection Agency, 2012) . Pengetahuan dasar tentang faktor-faktor yang mempengaruhi pembentukan gas *landfill* diperlukan dalam memahami permodelan gas *landfill*. Laju pembentukan gas landfill dipengaruhi oleh factor-faktor berikut ini:

2.6.1. Kelembapan (*Moisture content*)

Kelembapan akan memicu peningkatan laju penguraian sampah organic oleh mikroorganisme (US Environmental Protection Agency, 2012). Pembentukan gas metan *landfill* mulai terjadi pada kondisi kelembapan 10%, dan akan meningkat seiring dengan meningkatnya kelembapan (Hartz & Ham, 1983). Kelembapan yang tinggi dapat meningkatkan laju methanogenesis dengan cara melarutkan zat-zat toksik yang dapat menghambat proses methanogenesis serta juga dapat melarutkan dan mengangkut nutrient yang diperlukan dalam proses methanogenesis. Sampah makanan dan sampah taman biasanya memiliki kadar kelembapan lebih dari 25%. Curah hujan dan infiltrasi air dari permukaan dapat meningkatkan kelembapan sampah di *landfill.* Kadar kelembapan juga dapat ditingkatkan dengan cara resirkulasi lindi (Deed dkk., 2004). Resirkulasi lindi dapat memberikan kandungan air tambahan yang dapat mendukung biodgradasi sampah dan meningkatkan nilai laju penguraian sampah (*waste decay rate*) (Nwaokorie dkk., 2018).

digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id

2.6.2. Temperatur

Umumnya, aktivitas mikroba dipengaruhi oleh perubahan temperature. Laju aktivitas mikroba menjadi dua kali lipat saat terjadi peningkatan suhu sebesar 10°C. Namun, trend tersebut hanya berlaku optimal pada suhu 30°-40° C. Di atas suhu tersebut, aktivitas mikroba akan menurun (Majdinasab dkk., 2017). Laju penguraian sampah (*waste decay rate*) meningkat dengan meningkatnya temperature (Fei dkk., 2015).

Pembentukan gas *landfill* meningkat seiring dengan meningkatnya temperatur sampai dengan 57°C. Pada temperature yang lebih tinggi, pembentukan gas *landfill* akan menurun (US Environmental Protection Agency, 2012). Pada fase awal pembentukan gas *landfill*, temperature bisa mencapai 80°-90°C. Suhu tinggi tersebut terjadi karena pada fase awal, reaksi pembentukan gas *landfill* masih didominasi oleh fase aerobik. Setelah fase aerobic dilalui, temperature akan turun perlahan hingga mencapai suhu 35-45°C, yang merupakan suhu optimum fase methanogenesis (Deed dkk., 2004).

Laju pembentukan gas *landfill* juga dipengaruhi oleh suhu atmosfer yang merupakan pengaruh tidak langsung dari pengaruh musim. Ketika suhu atmosfer yang relative tinggi (pada musim panas, musim kemarau, atau musim gugur), maka laju pembentukan gas landfill juga akan meningkat. Sampah pada kedalaman lebih dari 10 meter, tidak dipengaruhi oleh temperature lingkungan/atmosfer (Lei dkk., 2012).

2.6.3. Kadar Oksigen

Oksigen di udara dapat masuk ke dalam timbunan sampah dan menghambat mikroorganisme anaerob untuk membentuk gas *landfill*. Infiltrasi udara dapat masuk ke dalam timbunan sampah melalui system pengumpul gas (US Environmental Protection Agency, 2012).

2.6.4. Komposisi sampah

Tingkat penguraian (*degradability*) sampah mempengaruhi jumlah dan laju pembentukan gas *landfill* . Tingkat penguraian untuk tiap jenis sampah bervariasi. Materi organik yang memiliki tingkat penguraian tinggi (*high degradability*), seperti sampah makanan, akan menghasilkan gas *landfill* relatif lebih cepat daripada sampah yang tingkat penguraiannya rendah (*poor degradability*) (US

digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id

Environmental Protection Agency, 2012). Sampah anorganik menghasilkan komposisi dan laju pembentukan gas *landfill* yang berbeda dengan sampah organik (Deed dkk., 2004).

Komposisi sampah mempengaruhi potensi pembentukan gas metan sebesar 10 – 300 Liter CH_4/kg sampah. Peningkatan komposisi sampah *biodegradable* memberikan efek signifikan terhadap peningkatan laju pembentukan gas *landfill* (Fei dkk., 2015). Perubahan pada Jumlah sampah di *landfill* memberikan pengaruh lebih signifikan terhadap pembentukan gas metan, daripada perubahan komposisi sampah (Cho dkk., 2012).

2.6.5. Densitas Sampah

Secara teori, pembentukan gas *landfill* berbanding lurus dengan densitas timbunan sampah. Namun, peningkatan densitas sampah akan mengurangi permeabilitas, sehingga dapat menghambat nutrient terlarut yang dibutuhkan oleh mikroba (Deed dkk., 2004).

2.6.6. pH

Proses penguraian sampah di *landfill* terjadi dominan melalui methanogenesis pada kondisi optimum pH 6,5 – 8,5. Kondisi asam yang terjadi akibat akumulai pernguraian materi *biodegradable* akan menghambat proses methanogenesis. Selain itu, kondisi asam akan menyebabkan pelarutan ion-ion logam yang dapat menghambat proses methanogenesis (Deed dkk., 2004).

2.6.7. Zat toksik dan senyawa inhibitor

Keberadaan senyawa kimia, seperti desinfektan dan senyawa pembersih lainnya, dapat menghambat berlangsungnya proses methanogenesis. Senyawa inhibitor lainnya antara lain chloroform, chloroacetate, formaldehid, nitrat, natrium hipoklorit, asam klorida, hydrogen peroksida, methanol, dan sulfat (Deed dkk., 2004).

2.7. Komposisi Gas *Landfill*

Gas *landfill* adalah campuran dari beragam gas yang dihasilkan dari penimbunan sampah di TPA (Njoku dkk., 2018). Jumlah maksimum dari gas *landfill* yang dihasilkan adalah sekitar 0,6 sampai 0,18 m^3 per kg sampah. Gas *landfill* sebagian sebar disusun oleh 55% gas metan (CH_4), 45% gas Karbon

digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id

dioksida (CO_2), dan 1% berbagai gas lainnya. (Ehrig dkk., 2011). Kreith & Tchobanoglous (2002) membagi komposisi gas menjadi 2 kelompok sebagai berikut:

1. *Principal landfill gas constituents*, adalah komponen utama penyusun gas *landfill* yang dominan terbentuk dari dekomposisi fraksi organic dalam sampah. Kelompok gas ini terdiri dari ammonia (NH_3), karbon dioksida (CO_2), karbon monoksida (CO), hydrogen (H_2), hydrogen sulfida (H_2S), metan (CH_4), nitrogen (N_2), dan oksigen (O_2). Kandungan kelompok gas ini secara umum disajikan dalam Tabel 2.7.

Tabel 2. 7 Konsentrasi Principal landfill gas constituents pada umumnya

Komponen	Kandungan dalam gas landfill (dalam %)
Metan (CH_4)	45 – 60
Karbon dioksida (CO_2)	40 – 60
Karbon monoksida (CO)	0 – 0,2
Gas Hidrogen (H_2)	0 – 0,2
Ammonia (NH_3)	0,1 – 1,0
Oksigen (O_2)	0,1 – 1.0
Gas Nitrogen (N_2)	2 – 5

Sumber: (Kreith & Tchobanoglous, 2002)

2. *Trace Landfill Gas Constituents*, adalah gas *landfill* yang terdiri dari komponen gas yang sebagian besar merupakan kelompok gas organic volatile (VOC) dan termasuk jenis gas selain metan atau *Non-Methane Organic Compounds* (NMOC). Meskipun dalam konsentrasi yang sangat kecil, kelompok gas ini merupakan jenis gas beracun dan dapat membahayakan kesehatan manusia. Kandungan kelompok gas ini secara umum disajikan dalam Tabel 2.8.

Tabel 2. 8 Konsentrasi Trace Landfill Gas Constituents pada umumnya

Senyawa	Konsentrasi (ppb volume)		
	Median	Rata-rata	Maksimum
Acetone	0	6.838	240.000
Benzene	932	2.057	39.000

digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id

Senyawa	Konsentrasi (ppb volume)		
	Median	Rata-rata	Maksimum
Karbon dioksida	330.000.000	10.000.000	534.000.000
Chlorobenzene	0	82	1.640
Chloroform	0	245	12.000
1,1-dichloroethane	0	2.801	36.000
Dichloromethane	1.150	25.694	620.000
1,1-dichloroethene	0	130	4.000
Diethylene chloride	0	2.835	20.000
1,2-trans-dichloroethane	0	36	850
2,3-dichloropropane	0	0	0
1,2-dichloropropane	0	0	0
Ethylene bromide	0	0	0
Ethylene dichloride	0	59	2.100
Ethylene oxide	0	0	0
Ethyl benzene	0	7.334	87.500
Hydrogen sulphide	0	0	0
Hydrogen	0	0	4
Methane	440.000.000	70.000.000	740.000.000
Nitrogen	12	26	98
Oksigen	1	2	17
1,1,2-trichloroethane	0	0	0
1,1,1-trichloroethane	0	615	14.500
Trichloroethylene	0	2.079	32.000
Toluene	8.125	34.907	280.000
1,1,2,2-tetrachloroethane	0	246	16.000
Tetrachloroethylene	260	5.244	180.000
Vinyl chloride	1.150	3.508	32.000
Methyl ethyl ketone	0	3.092	130.000
Styrene	0	1.517	87.000
Vinyl acetate	0	5.663	240.000

digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id

Senyawa	Konsentrasi (ppb volume)		
	Median	Rata-rata	Maksimum
xylene	0	2.651	38.000

Sumber: (Kreith & Tchobanoglous, 2002)

2.8. Dampak Lingkungan dari Pembentukan Gas *Landfill*

Gas *landfill*, dimana sebagian besar disusun oleh gas metan dan gas karbon dioksida, juga mengandung komponen gas lainnya yang berpotensi menimbulkan dampak lingkungan. Dampak lingkungan dari pembentukan gas *landfill* antara lain potensi *Global warming*, penipisan lapisan ozon, *photochemical pollution*, asidifikasi, dan potensi toksisitas terhadap manusia.

2.8.1. Potensi Pemanasan Global

Gas *landfill* umumnya mengandung 45% - 60% gas metan, 40% - 60% gas karbon dioksida, dan 2% - 9% gas lain (Aljaradin & Persson, 2012). Karbon dioksida, metan, dan beragam jenis gas halogen yang terkandung dalam gas metan merupakan jenis gas rumah kaca (*Greenhouse Gases*). Gas rumah kaca akan menyerap radiasi inframerah yang dipantulkan dari permukaan bumi, lalu menghasilkan energy panas yang dipancarkan kembali ke bumi. Metan adalah jenis gas rumah kaca yang menjadi perhatian utama penyebab pemanasan global, setelah gas karbon dioksida (Deed dkk., 2004). Manajemen gas *landfill* yang tidak memadai dapat menyebabkan berbagai dampak lingkungan. Kandungan gas CH_4 dan CO_2 dalam *landfill* mencapai 45 – 50% dari total gas *landfill*, dimana kedua gas ini merupakan kontributor utama terhadap fenomena *Global Warming* (Njoku dkk., 2018).

2.8.2. Potensi Penipisan Lapisan Ozon

Gas *landfill* mengandung senyawa CFC (*chloro-fluoro-carbon*) dan beberapa jenis halogen yang merupakan senyawa yang menyebabkan penipisan lapisan ozon (Deed dkk., 2004). CFC-11, CFC-12, CFC-113, dan CH_3CCl_3 adalah jenis senyawa dalam gas *landfill* yang diketahui melebihi konsentrasi ambien. Gas-gas tersebut dihasilkan dari limbah/sampah yang ditimbun di TPA. gas CFC-11 diperkirakan berasal dari misalnya kaleng aerosol dan plastik *foam* (dari *furniture* dan kasur). CFC-12 diperkirakan berasal dari misalnya kaleng aerosol (residu

digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id

propelan), cairan pendingin, dan *foam* (umumnya dari jenis *polystyrene)*. CFC-113 diperkirakan berasal dari misalnya residu pelarut, *foam*, pendingin, dan propelan. CH_3CCl_3 diperkirakan berasal dari misalnya residu pelarut seperti penghilang noda, deterjen, zat perekat, dan pernis (E. L. Hodson dkk., 2010).

2.8.3. Photochemical Pollution

Hidrokarbon dalam gas *landfill* yang tersusun lebih dari satu atom karbon per molekul, dapat menghasilkan gugus senyawa yang sangat reaktif apabila terpapar radiasi ultraviolet dari sinar matahari. Gugus reaktif dari hidrokarbon, seperti CH_3▪, dapat bereaksi dengan nitrogen di atmosfer untuk membentuk *tropospheric ozone*. Terbentuknya *Tropospheric ozone* akan memicu fenomena *Photochemical smog* yang mengandung senyawa Hidrogen peroksida dan *Peroxyacyl-nitrate* yang berbahaya bagi makhluk hidup sekitar. *Tropospheric ozone* berbahaya bagi manusia pada konsentrasi lebih dari 200 $\mu g/m^3$, dan dapat merusak vegetasi pada konsentrasi diatas 60 $\mu g/m^3$ (Deed dkk., 2004). Konsentrasi ozon yang tinggi pada *ground level* akan menghambat fotosintesis tumbuhan, menghambat pertumbuhan tanaman, dan menurunkan hasil produksi tanaman pertanian (Danthurebandara dkk., 2012).

2.8.4. Asidifikasi

Senyawa gas bersifat asam yang terkandung dalam gas *landfill*, berkontribusi terhadap fenomena hujan asam dan memiliki dampak sekunder pada asidifikasi lingkungan. Ammonia adalah senyawa bersifat asam yang dapat ditemukan dalam gas *landfill*. Ammonia berkontribusi pada pembentukan asam nitrat. Asam nitrat dapat merusak tanaman dan menghambat pertumbuhan tanaman (Danthurebandara dkk., 2012).

2.8.5. Toksisitas pada Manusia (*Human Toxicity*)

Banyak gas polutan berbahaya yang terkandung dalam gas *landfill* merupakan senyawa *carcinogenic* (Davoli dkk., 2010). Paparan kontaminan terhadap manusia dapat terjadi melalui kontak langsung, inhalasi, dan saluran pencernaan melalui makanan atau air yang tercemar. Sejumlah studi menunjukkan bahwa resiko kanker semakin tinggi terhadap masyarakat yang tinggal dekat dengan lokasi TPA (Danthurebandara dkk., 2012). Hidrogen sulfida yang terkandung dalam gas *landfill*, merupakan bersifat toksik pada konsentrasi rendah

digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id

dan tidak terdeteksi oleh indera penciuman pada konsentrasi rendah (Deed dkk., 2004).

2.9. Jenis-Jenis Model Gas *Landfill*

Ada dua pendekatan matematika yang umum digunakan dalam memperkirakan laju pembentukan gas, yaitu: (1) laju pembentukan gas ditentukan sebagai fungsi empiris atau sebagai kombinasi dari fungsi keseluruhan parameter kinetik yang berpengaruh dalam pembentukan gas *landfill*, (2) model laju pembentukan gas ditentukan sebagai penjumlahan kompleks dari fungsi matematika yang menunjukkan proses fisik-kimia selama proses biodegradasi sampah. Dalam permodelan gas *landfill*, pada tahun/periode awal diasumsikan tidak ada gas metan yang dihasilkan. Pembentukan gas secara kumulatif didapatkan dari jumlah gas yang dihasilkan selama periode aktif (Kamalan dkk., 2011). Berdasarkan asumsi kinetika reaksi yang digunakan, pemodelan gas *landfill* terbagi menjadi: (1) model orde nol, (2) model orde satu, (3) model orde dua, dan (4) model matematika kompleks (Majdinasab dkk., 2017).

2.9.1. Model orde nol

Pada model ini, laju pembentukan gas *landfill* cenderung stabil dari waktu ke waktu (Majdinasab dkk., 2017). Jenis sampah dan umur timbunan sampah dianggap tidak mempengaruhi pembentukan gas *landfill* (Kamalan dkk., 2011). Contoh model yang termasuk dalam kategori ini adalah IPCC, *Solid Waste Association of North America* (SWANA) *Zero Order*, dan EPER *Germany*.

2.9.2. Model orde Satu

Kebanyakan permodelan yang digunakan saat ini adalah model dengan orde satu. Model jenis ini mempertimbangkan faktor karakteristik sampah, kuantitas sampah, dan kondisi lingkungan *landfill*.dalam memperkirakan pembentukan gas *landfill* (Majdinasab dkk., 2017). Model orde satu selalu mengasumsikan hubungan langsung antara kandungan karbon dalam sampah dan fungsi eksponensial dari laju penguraian sampah dengan gas metan yang dihasilkan (Kamalan dkk., 2011). Contoh model yang termasuk dalam kategori ini adalah SWANA *first order*, LandGEM, GasSim, TNO, *afvalzorg*, EPER *France*, *Mexico*, dan LFGGEN.

digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id

2.9.3. Model orde dua

Model orde dua menjelaskan reaksi kompleks selama proses degradasi sampah menggunakan reaksi orde satu dalam jumlah besar dengan laju yang berbeda-beda (Kamalan dkk., 2011).

2.9.4. Model matematika kompleks

Model ini melibatkan beberapa atau semua variabel fisik, kimia, dan biologi yang mempengaruhi laju pembentukan gas *landfill* dengan menggunakan persamaan matematika kompleks. Untuk mendapatkan hasil dengan akurasi dan presisi tinggi, model ini memerlukan analisis detail dan banyak pengukuran vaariabel (Majdinasab dkk., 2017).

2.10. Model LandGEM

LandGEM dikembangkan oleh *Control Technology Center* dari US EPA. Pada tahun 2005, LandGEM versi 3.02 dirilis dan dapat dioperasikan melalui program aplikasi pengolah data (*Windows Excel Environment*). LandGEM merupakan model orde satu dan dapat menghitung emisi gas *landfill* tahunan (Andreottola dkk., 2019). Persamaan yang digunakan dalam LandGEM adalah sebagai berikut:

$$Q_{CH_4} = \sum_{t=1}^{n} \sum_{j=0,1}^{1} kL_0 \left[\frac{M_i}{10}\right] e^{-kt_{ij}} \quad (2.1)$$

Dimana:

Q_{CH4} = jumlah gas metan yang dihasilkan dalam tahun perhitungan (m^3/tahun);

n = tahun perhitungan – tahun awal sampah masuk TPA;

k = laju pembentukan metan (1/tahun);

L_0= kapasitas potensial pembentukan metan (m^3/Mg);

M_i = berat sampah yang diterima pada tahun ke=i (Mg);

t_{ij} = umur ektor ke-j dimana sampah dengan berat M_i diterima pada tahun ke-i.

Input data yang dibutuhkan dalam model antara lain, Kapasitas desain *landfill* (TPA), Jumlah sampah yang masuk TPA per tahun, Konstanta laju pembentukan metan (k) dan kapasitas potensial pembentukan metan (L_0), Konsentrasi total senyawa organic non-metan, dan masa pelayanan TPA. Output data hasil pemodelan LandGEM berupa jumlah emisi gas metan, senyawa organik

digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id

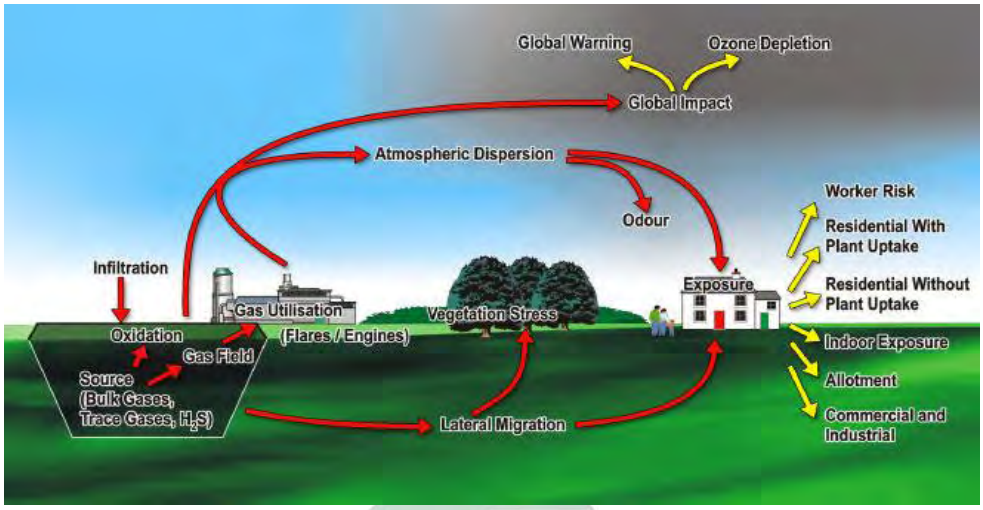
non-metan, dan polutan spesifik lainnya, disertai dengan grafik, hingga beberapa dekade setelah masa layanan TPA berakhir (Kamalan dkk., 2011).

Parameter yang mempengaruhi hasil pemodelan LandGEM antara lain kapasitas potensial pembentukan metan (L_0) dan nilai laju pembentukan metan (k). Kapasitas potensial pembentukan metan adalah parameter yang menunjukkan kapasitas sampah dalam menghasilkan volume spesifik gas metan per berat sampah (Majdinasab dkk., 2017). Nilai L_0 dipengaruhi oleh jumlah sampah *biodegrable*, laju aktivitas mikroba, zat padat volatile, dan kondisi iklim (seperti kelembapan dan suhu) (Fallahizadeh dkk., 2019). Laju pembentukan metan (k) adalah parameter yang menunjukkan rentang waktu pembentukan gas metan dalam kondisi spesifik (Majdinasab dkk., 2017). Semakin tinggi nilai k, maka laju pembentukan gas metan juga semakin tinggi. Nilai k dipengaruhi oleh factor ketersediaan nutrient bagi mikroba pengurai, pH dari timbunan sampah, kandungan air dan temperature dalam timbunan sampah (Fallahizadeh dkk., 2019).

2.11. Model GasSim

Model GasSim dikembangkan oleh *Environment Agency*. Model GasSim merupakan jenis model orde satu yang mengelompokkan laju biodegradasi menjadi 3 kelompok, yaitu *slow, medium,* dan *fast*. Selain itu, model GasSim membagi *moisture content* menjadi 3 kategori, yaitu: (1) *dry = moisture content* kurang dari 30%, (2) *average = moisture content* diantara 30%-60%, (3) *wet = moisture content* lebih dari 60%. M*oisture content* yang lebih dari 70%, akan menghambat pembentukan gas metan (Donovan dkk., 2010). Model konseptual dari model GasSim ditunjukkan pada Gambar 2.2. Model GasSim memiliki 4 modul utama sebagai input data antara lain: (1) *source term,* (2) *Emissions,* (3) *environment transport,* dan (4) *exposure impact* .

digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id



Gambar 2. 2 Model konseptual dari model GasSim

Sumber: (Attenborough dkk., 2002)

2.11.1. Source Term

Source term adalah input utama yang menentukan hasil simulasi pembentukan gas *landfill*. Untuk model gas yang tergolong *trace gas*, input yang diperlukan adalah nilai tipikal konsentrasi gas spesifik dari total gas *landfill* yang dihasilkan. Pembentukan gas metan, karbon dioksida, hydrogen, dan hydroge n sulfida, ditentukan oleh input pada Source term yang meliputi:

- klasifikasi sampah berdasarkan sumber sampah
- komposisi sampah dan fraksi sampah. Fraksi sampah adalah persentase materi yang dapat terurai, proporsi dari selulosa dan hemi-selulosa.
- *waste moisture content*, berasal dari infiltrasi, manajemen lindi, dan parameter fisika sampah
- *biodegradability*, adalah laju penguraian selulosa dari fraksi sampah

Selanjutnya, gas *landfill* yang terbentuk melalui persamaan berikut:

$$C_t = C_0 - \left(C_{o,1}e^{(-k_1 t)} + C_{o,2}e^{(-k_2 t)} + C_{o,3}e^{(-k_3 t)}\right) \quad (2.2)$$

$$C_x = C_t - C_{t-1} \quad (2.3)$$

Dimana,

C_t = berat *degradable carbon* yang terurai hingga tahun t (ton);

C_0 = berat *degradable carbon* pada waktu ke-0 (ton);

$C_{o,1}$ = berat *degradable carbon* pada waktu ke-0 untuk fraksi sampah yang memiliki laju degradasi yang tinggi (ton);

digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id

$C_{o,2}$ = berat *degradable carbon* pada waktu ke-0 untuk fraksi sampah yang memiliki laju degradasi yang sedang (ton);

$C_{o,3}$ = berat *degradable carbon* pada waktu ke-0 untuk fraksi sampah yang memiliki laju degradasi yang rendah (ton);

C_x = berat karbon yang terdegradasi pada tahun t (ton);

t = selang waktu antara penimbunan sampah dengan pembentukan gas *landfill* (tahun);

k_i = konstanta laju degradasi (1/tahun)

2.11.2. *Emissions*

Model GasSim dapat mensimulasikan emisi dari *flare* atau teknologi pengolahan gas *landfill* lainnya, berdasarkan data dari sistem pengumpul gas *landfill*. Model GasSim mengasumsikan bahwa gas *landfill* yang tidak terkelola (terkumpul) akan terekspos ke lingkungan. Model GasSim juga mengasumsikan bahwa gas *landfill* yang terbentuk dari timbunan sampah yang tidak tertutup (*uncapped*), akan terlepas ke atmosfer, tanpa proses oksidasi metan.

2.11.3. *Environment transport*

Perpindahan kontaminan secara lateral melalui geosfer, diperkirakan dengan menggunakan persamaan adveksi-dispersi. Model GasSim mengasumsikan bahwa tidak ada pengurangan konsentrasi dari gas kontaminan selama berpindah/bergerak di dalam tanah. Disperse melalui atmosfer dari emisi mesin, *flare*, dan permukaan *landfill*, disimulasikan menggunakan model *Gaussian plume* NRPB R91. Model tersebut melibatkan perhitungan *thermal plume rise* dari *flare*, dan mensimulasikan disperse gas di atmosfer melalui deposisi basah dan deposisi kering. Model GasSim mengasumsikan bahwa emisi dari *landfill* sebagai sumber emisi berupa sumber titik (*point source*). Simulasi disperse udara ini membutuhkan data meteorology berupa kecepatan angin dan *mixing layer height* dari setiap kondisi stabilitas atmosfer.

2.11.4. *Exposure Impact*

Dampak dari emisi gas *landfill* dapat diperkirakan melalui 4 cara, antara lain: (1) global warming potential dan ozone depletion potential, (2) pengaruh vegetasi pada jarak tertentu, (3) rentang konsentrasi gas *landfill* dengan ambang

digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id

batas untuk kategori dampak bau yang ditimbulkan, dan (4) paparan terhadap pekerja *landfill*, dan penyebaran gas secara indoor maupun outdoor.

2.12. Integrasi Keilmuan dan Islam dalam Pengelolaan Sampah

Islam selalu mengajarkan umatnya untuk selalu menjaga dan memelihara lingkungan terlebih Islam juga melarang umatnya berbuat kerusakan di muka bumi seperti yang telah dijelaskan dalam Q.S. Al-A'raf:56 sebagai berikut:

وَلَا تُفْسِدُوا۟ فِى ٱلْأَرْضِ بَعْدَ إِصْلَٰحِهَا وَٱدْعُوهُ خَوْفًا وَطَمَعًا ۚ إِنَّ رَحْمَتَ ٱللَّهِ قَرِيبٌ مِّنَ ٱلْمُحْسِنِينَ ٥٦

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

Dalam ayat diatas menjelaskan bahwa kita dianjurkan untuk selalu menjaga lingkungan, salah satu contoh bentuk menjaga lingkungan yaitu dengan melakukan pengelolaan sampah untuk mencegah timbulnya penyakit dan untuk menjaga kelestarian lingkungan.

Selain itu juga Al-Qordlowi juga merumuskan istilah-istilah berikut untuk menjaga lingkungan:

a. Hifz al-bi'ah min al-muhafazah 'ala ad-din (memelihara) lingkungan merupakan bagian dari memelihara agama)
b. Hifz al-bi'ah min al-muhafazah 'ala an-nafs (memelihara lingkungan merupakan bagian dari memelihara jiwa)
c. Hifz al-bi'ah min al-muhafazah 'ala an-nasl (memelihara lingkungan merupakan bagian dari memelihara keturunan)
d. Hifz al-bi'ah min al-muhafazah 'ala al-aql nasl (memelihara lingkungan merupakan bagian dari memelihara akal)
e. Hifz al-bi'ah min al-muhafazah 'ala al-mal (memelihara lingkungan merupakan bagian dari memelihara harta)

digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id

Dari penjelasan-penjelasan tersebut dapat disimpulkan bahwa menjaga lingkungan khususnya terhadap pengelolaan sampah memiliki asas dan tujuan penting diantaranya yaitu asas perlindungan terhadap agama, jiwa, keturunan, akal dan harta benda (Sadullah, 2016).

digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id

2.13. Penelitian-Penelitian Terdahulu

No.	Penulis, (tahun)	Judul Penelitian	Metode Penelitian	Hasil Penelitian
1.	S.M. Donovan, T. Bateson, J.R. Gronow, & N. Voulvoulis (2010)	*Modelling The Behaviour of Mechanical Biological Treatment Outputs in Landfills Using the Gassim Model*	Jumlah gas landfill yang terbentuk dimodelkan dengan model GasSim Penelitian ini menggunakan 4 skenario, dimana masing-masing skenario diberi perlakuan dengan CLO yang berbeda	Mechanical biological treatment (MBT) adalah alternatif teknologi yang dikembangkan untuk mengurangi emisi gas landfill. Produk dari MBT yang berupa CLO (Compost like output) dapat diaplikasikan sebagai pelembap tanah (soil conditioner). Pada penelitian ini, CLO ditimbun bersama sampah lainnya di landfill. Produksi gas landfill dimodelkan dengan model GasSim. Hasil permodelan menunjukkan bahwa komposisi komponen sampah yang ditimbun mempengaruhi pembentukan gas landfill. CLO dari sampah dapur dan rumput, memberikan reduksi terbesar dalam jumlah gas landfill yang dihasilkan.

digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id

No.	Penulis, (tahun)	Judul Penelitian	Metode Penelitian	Hasil Penelitian
2.	Anwar Johari, Saeed Isa Ahmed, Haslenda Hashim, Habib Alkali, & Mat Ramli (2012)	*Economic and environmental benefits of landfill gas from municipal solid waste in Malaysia*	Jumlah gas landfill yang terbentuk dimodelkan dengan model IPCC	Pelepasan Gas Rumah Kaca (GRK) dan pengelolaan sampah domestik menjadi tantangan utama dalam pertumbuhan ekonomi. Padahal, sumber-sumber tersebut bisa dikelola menjadi sumber energy hijau. Gas landfill yang sebagian besar kandungannya terdiri dari metan dan karbon dioksida, terlepas dari sampah domestic melalui proses biodegradasi. Dari hasil pemodelan IPCC, gas landfill dari sampah domestik di Peninsula Malaysia diperkirakan 310.220 ton per tahun. Hasil tersebut diperkirakan dapat menghasilkan listrik sebesar 1,9 miliar kWh dalam setahun, atau setara dengan 190 juta US$. Di sisi lain, pemanfaatan energy listrik dari sampah juga berkontribusi mengurangi gas karbon

digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id

No.	Penulis, (tahun)	Judul Penelitian	Metode Penelitian	Hasil Penelitian
				dioksida yang terlepas ke atmosfer sebesar 6.514.620 ton dalam setahun, atau setara dengan 85 juta US$.
3.	Muralidhar Gollapalli & Sri Harsha Kota (2018)	*Methane emissions from a landfill in north-east India: Performance of various landfill gas emission models*	Produksi gas metan dan karbon dioksida diperkirakan dengan metode flux chamber. Hasil dari flux chamber dibandingkan dengan hasil pemodelan dari model Modified Triangular Method (MTM), IPCC, dan USEPA Landfill gas emissions model (LandGEM).	Dari hasil flux chamber, laju emisi rata-rata dari gas metan dan karbon dioksida adalah 68 dan 92 mg/menit/m^2. Emisi yang dihasilkan akan tinggi saat musim panas, sedangkan emisi yang dihasilkan akan rendah pada musim dingin. Hasil pemodelan dengan MTM memberikan hasil 1,9 kali dari metode flux chamber. Hasil pemodelan dengan IPCC memberikan hasil 1,4 kali dari metode flux chamber. Hasil pemodelan dengan LandGEM Clean Air Act memberikan hasil 3,3 kali dari metode flux chamber. Hasil pemodelan dengan LandGEM

digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id

No.	Penulis, (tahun)	Judul Penelitian	Metode Penelitian	Hasil Penelitian
				Inventory memberikan hasil 1,6 kali dari metode flux chamber.
4.	Dian Andriani & Tinton D. Atmaja (2019)	*The potentials of landfill gas production: a review on municipal solid waste management in Indonesia*	Jurnal Review	Sampah domestic menjadi masalah kompleks di Indonesia karena beragam penyebab, seperti pertumbuhan populasi, peningkatan jumlah sampah, masalah kesehatan dari sampah yang tidak terkelola dengan baik, dan kurangnya kesadaran dari masyarakat. Berbagai pertimbangan telah mempengaruhi metode pengelolaan sampah di berbagai negara. Salah satu pertimbangan dalam pengelolaan sampah adalah gas landfill. Hasil penelitian ini menjabarkan pengelolaan sampah di Indonesia, dimana fokus utama adalah pembentukan gas landfill dari model LandGEM dan IPCC. Kedua model tersebut telah banyak digunakan

digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id

No.	Penulis, (tahun)	Judul Penelitian	Metode Penelitian	Hasil Penelitian
				diberbagai kota di Indonesia, termasuk Medan, Jakarta, Semarang, Yogyakarta, Denpasar, Pontianak, dan Makassar. Penelitian ini menemukan bahwa 20,23 x 10^6 ton/tahun dari sampah yang dihasilkan di Indonesia, dapat menghasilkan gas metan 875.130 ton/tahun, atau setara dengan energy listrik sebesar 54.142 MW dalam satu tahun.
5.	Saeid Fallahizadeh, Masoumeh Rahmatinia, Zakarya Mohammadi, Marzieh Vaezzadeh, Ali Tajamiri, & Hamed Soleimani (2019)	*Estimation of methane gas by LandGEM model from Yasuj municipal solid waste landfill, Iran*	Jumlah gas landfill yang terbentuk dimodelkan dengan model LandGEM.	Penelitian ini bertujuan untuk memperkirakan jumlah gas metan yang dihasilkan dari landfill Kota Yasuj, Iran. Berdasarkan hasil model LandGEM, produksi gas metan pada tahun 2009, 2010, 2011, dan 2012 berturut-turut adalah 250, 275, 303, dan 330 m^3/jam. Laju maksimum dari pembentukan metan terjadi pada tahun

digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id

No.	Penulis, (tahun)	Judul Penelitian	Metode Penelitian	Hasil Penelitian
				2010 – 2012, setelah tahun 2012 produksi gas metan mulai menurun.
6.	Jorge M. Torrente V., Mario Giampietro, Maddalena Ripa, & Rosaria Chifari (2018)	*Landfill reactions to society actions: The case of local and global air pollutants of Cerro Patacón in Panama*	1. Laju pembentukan metan dan landfill dihitung berdasarkan 10 model, selama periode 100 tahun. 2. Model GasSIM digunakan untuk memperkirakan laju emisi dari 6 jenis gas polutan berbahaya. 3. AERMOD digunakan untuk memodelkan disperse gas polutan berbahaya. Hasil permodelan dipetakan dalam google earth.	Penelitian ini bertujuan untuk memperkirakan emisi dari landfill dan resiko terhadap lingkungan dan kesehatan di kota Panama. Data empiris landfill Cerro Patacon, Kota Panama, dikumpulkan untuk mendeskripsikan status penimbunan sampah rumah tangga di landfill tersebut. Hasil penelitian menunjukkan bahwa landfill Cerro Patacon akan menghasilkan 45% metan dari total metan keseluruhan kota Panama pada tahun 2022, dengan jumlah sekitar 47 Gg. Dari hasil permodelan dispersi polutan gas berbahaya, sampah yang dihasilkan oleh 1,5 penduduk kota Panama akan mengancam kesehatan 73.600 penduduk

digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id

No.	Penulis, (tahun)	Judul Penelitian	Metode Penelitian	Hasil Penelitian
				yang tinggal di sekitar landfill. Laju emisi paling tinggi adalah dari gas hydrogen sulfida dan diklorometan.
7.	Amin Nikkhah, Mehdi Khojastehpour, & Mohammad Hossein Abbaspour-Fard (2018)	*Hybrid Landfill Gas Emissions Modeling and Life Cycle Assessment for Determining the Appropriate Period to Install Biogas System*	LandGEM digunakan untuk memperkirakan produksi gas metan. Metode LCA digunakan untuk memperkirakan potensi global warming.	Gas Landfill dari penimbunan sampah rumah tangga merupakan salah satu penyumbang utama Gas Rumah Kaca (GRK). Salah satu solusi untuk memitigasi dampak GRK dari landfill adalah memasang biogas recovery system. Maka dari itu, pembentukan gas metan dan potensi global warming dari landfill perlu diperkirakan untuk menentukan periode pemasangan sistem biogas tersebut. Landfill Saravan, terletak di Iran bagian utara. Hasil pemodelan LandGEM dalam periode 140 tahun, menunjukkan jumlah pembentukan gas metan

digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id

No.	Penulis, (tahun)	Judul Penelitian	Metode Penelitian	Hasil Penelitian
				maksimum terjadi pada tahun 2019, dengan jumlah 17.948 Mg. Hasil LandGEM dan LCA menunjukkan bahwa dalam 30 tahun (dari tahun 2018 – 2047), pembentukan gas metan akan mencapai 47% dari total emisi landfill. Sementara itu, potensi global warming pada periode yang sama, menunjukkan persentase sebesar 47% dari total potensi global warming dari landfill. Maka dari itu, periode tahun 2018 – 2017 adalah periode yang tepat untuk memasang sistem biogas.
8.	Ankur Choudhary, Ashish Kumar, & Sudhir Kumar (2020)	*National Municipal Solid Waste Energy and Global Warming Potential Inventory: India*	Perkiraan gas metan yang terbentuk menggunakan model Landfill Gas Emissions Model (LandGEM) with state specific values.	Dalam penelitian ini, inventarisasi emisi gas metan dari sampah rumah tangga, energy, dan potensi global warming pada tahun 2005 – 2030, diperkirakan dengan menggunkan model LandGEM (state

digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id

No.	Penulis, (tahun)	Judul Penelitian	Metode Penelitian	Hasil Penelitian
				specific values). Hasil simulasi menunjukkan bahwa India akan melepas 1.048 Gg gas metan ke atmosfer pada tahun 2020, dan diperkirakan akan menjadi 1.969 Gg pada tahun 2030, jika skenario pengelolaan sampah eksisting tidak berubah. Konversi pengelolaan sampah landfill dari sistem open dump menjadi sanitary landfill (dilengkapi dengan sistem pengumpul gas metan), akan mampu memanfaatkan energy sebesar 1.387 MW pada tahun 2030.
9.	Maheshi Danthurebandara, Steven Van Passel, Dirk Nelen, Yves Tielemans, & Karel Van Acker (2012)	*Environmental and socio-economic Impacts of landfills*	Jurnal Review	Degadasi sampah pada penimbunan di landfill menghasilkan lindi dan gas landfill yang berpotensi mengancam kesehatan manusia dan menurunkan kualitas lingkungan hidup. Gas landfill tersusun sebagian besar oleh gas metan dan karbon

digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id

No.	Penulis, (tahun)	Judul Penelitian	Metode Penelitian	Hasil Penelitian
				dioksida, dimana kedua gas tersebut merupakan kategori gas rumah kaca (GRK). Landfill menyumbang 20% dari total emisi metan dari kegiatan antropogenik. Gas landfill juga mengandung berbagai gas lain dalam konsentrasi rendah, dimana beberapa diantaranya tergolong gas polutan berbahaya. Dampak social-ekonomi dari landfill meliputi ancaman kesehatan masyarakat akibat dari kontaminasi lindi ke dalam sistem air tanah. Gangguan kenyamanan, seperti timbulnya bau, lalat, dan kebisingan, merupakan alasan utama penduduk tidak bersedia tinggal di di dekat lokasi landfill.

digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id

No.	Penulis, (tahun)	Judul Penelitian	Metode Penelitian	Hasil Penelitian
10.	E. L. Hodson, D. Martin, & R. G. Prinn (2010)	*The municipal solid waste landfill as a source of ozone-depleting substances in the United States and United Kingdom*	Cakupan spasial diperoleh melalui pengambilan sampel di tujuh *landfill* di Massachusetts dan melalui data yang disediakan oleh sembilan *landfill* di UK. Regresi *least square linier* dari ODS vs CH4, dikombinasikan dengan nasional perkiraan emisi CH4 *landfill* untuk memperkirakan emisi *landfill* secara nasional di AS dan UK pada tahun 2006.	Penelitian ini memperkiraan emisi CFC-11, CFC-12, CFC-113, dan 1,1,1-trikloroetan dari landfill di United States dan United Kingdom. Ozone Depletion Substances (ODS) dari landfill United States sekitar 0,4% - 1% (0,006 – 0,09 Gg/tahun) dari total emisi US. ODS dari landfill United Kingdom sekitar 1% (0,008 Gg/tahun) dan 6% (0,03 Gg/tahun) dari total emisi UK CFC-11 dan CFC-12.
11.	Sri Wahyono (2015)	*Studi Potensi dan Kualitas Gas dari Tempat Pemrosesan Akhir Sampah Kota Probolinggo*	Analisis potensi produksi gas metan menggunakan First Order Decay (FOD) menggunakan software IPCC dan LandGEM versi 3.02.	Penelitian ini memperkirakan bahwa produksi gas metan di TPA Kota Probolinggo mencapai puncaknya pada tahun 2015, yaitu sekitar 1.793 – 2.001 m^3. Produksi gas metan sampai tahun 2038 diperkirakan mencapai 19.818 – 36.259

digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id

No.	Penulis, (tahun)	Judul Penelitian	Metode Penelitian	Hasil Penelitian
				m^3. Kualitas gas TPA Kota Probolinggo terdiri dari komposisi gas metan 46,9%, CO_2 sebesar 30,12%, O_2 sebesar 2,52%, CO sebesar 10,2 ppm, dan H_2S sebesar 1,62 ppm.

digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id

BAB III
METODE PENELITIAN

3.1. Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian ini dilakukan di TPA Lempeni yang terletak di Desa Lempeni, Kecamatan Tempeh, Kabupaten Lumajang, Provinsi Jawa Timur. Lokasi Tempat Pembuangan Akhir (TPA) sampah Lempeni Lumajang terletak pada titik koordinat 8°14’3”S - 113°9’20”E.

3.2. Kerangka Penelitian

Kerangka penelitian merupakan acuan dalam melaksanakan penelitian, yang disusun berdasarkan pemikiran akan adanya permasalahan dalam ide sehingga mencapai tujuan penelitian. Rangkaian penelitian dari ta awal sampai hasil yang diharapkan digambarkan pada Gambar 3.1.

Penimbunan sampah di TPA Lempeni menghasilkan gas *landfill* yang memiliki berbagai potensi dampak lingkungan. Potensi dampak ini perlu diperhitungkan untuk menentukan pengendalian gas landfill yang tepat. Perencanaan pengendalian gas landfill memerlukan data jumlah dan komposisi gas landfill. Salah satu cara untuk memperkirakan jumlah dan komposisi gas landfill adalah dengan menggunakan pemodelan. Model LANDGEM dan GasSim adalah satu metode pemodelan gas landfill, dimana kedua model ini dapat memberikan hasil perkiraan jumlah dan konsentrasi beragam komponen penyusun gas landfill. Hasil pemodelan dijadikan inventori gas untuk menghitung potensi dampak lingkungan dari gas *landfill*.

digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id

Kondisi Eksisting

Penimbunan sampah di TPA menghasilkan gas *landfill* yang berpotensi menimbulkan dampak lingkungan.

Gap

Kondisi Ideal

Potensi dampak lingkungan gas *landfill* TPA Lempeni (yang berdasarkan dari jumlah dan komposisi gas) perlu diketahui untuk merencanakan pengendalian gas *landfill* yang tepat.

Rumusan Masalah

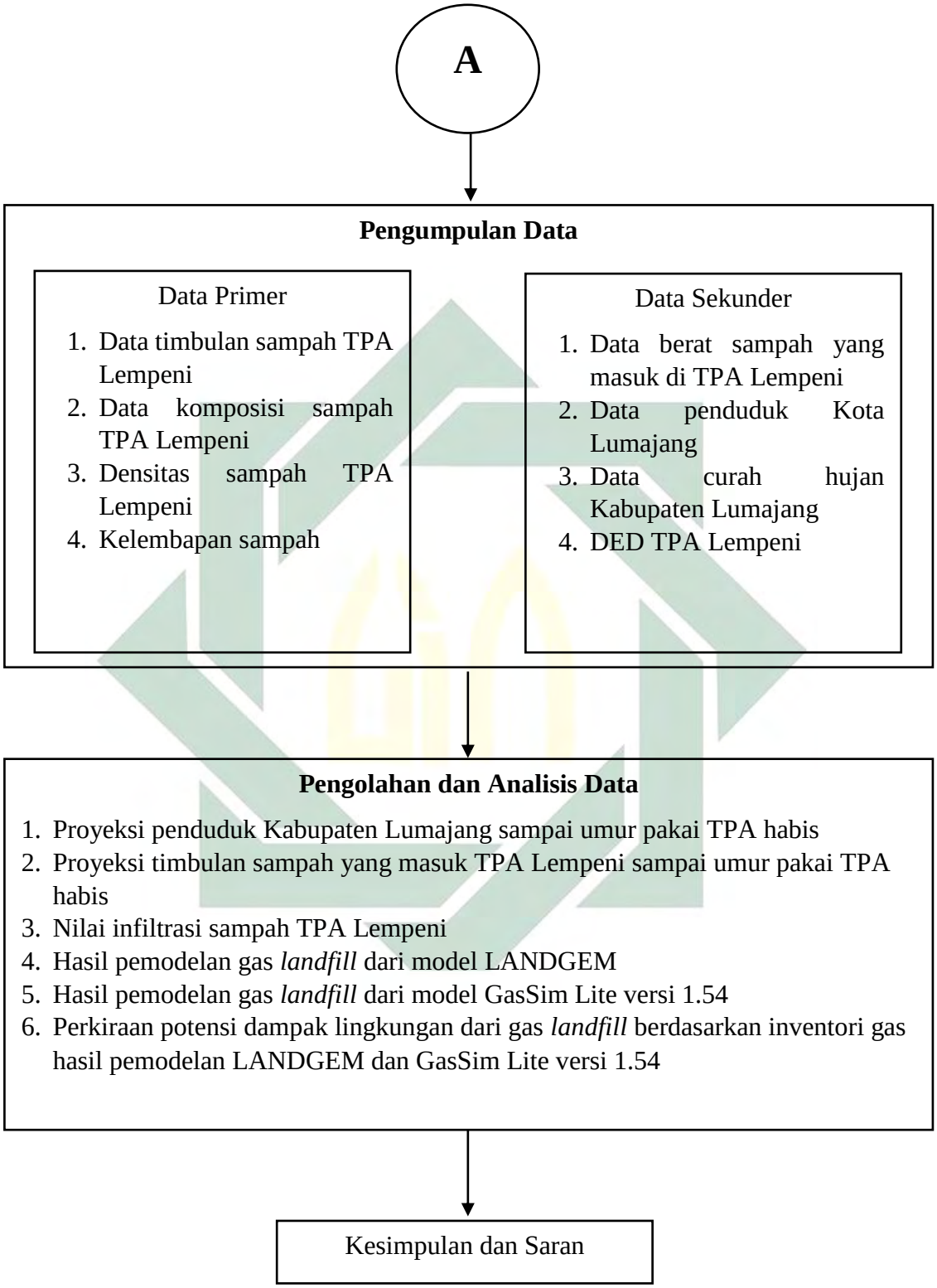
1. Bagaimana jumlah gas *landfill* yang dihasilkan dari penimbunan sampah di TPA Lempeni?
2. Bagaimana potensi dampak lingkungan dari gas *landfill* TPA Lempeni?

Tujuan Penelitian

1. Untuk mengetahui jumlah pembentukan gas *landfill* yang dihasilkan dari penimbunan sampah TPA Lempeni
2. Untuk mengetahui potensi dampak lingkungan dari gas *landfill.*

A

digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id



Gambar 3. 1 Kerangka Penelitian

digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id

3.3. Pelaksanaan Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan dengan berbagai tahapan, yakni diawali pengumpulan data primer dan data sekunder sebagai data input untuk pemodelan. Setelah semua data diperoleh, data selanjutnya dimasukkan dalam model LANDGEM dan GasSim Lite versi 1.54. Inventori gas hasil pemodelan dihitung berdasarkan dampak spesifik dari setiap jenis komponen gas *landfill*. Penjelasan detail tentang taan pelaksanaan dan metode penelitian dijelaskan sebagai berikut:

3.3.1. Pengumpulan Data Sekunder

Data sekunder dari penelitian ini antara lain, data berat sampah yang masuk di TPA Lempeni, data penduduk Kota Lumajang, data curah hujan Kabupaten Lumajang, dan DED TPA Lempeni. Data berat sampah yang masuk ke TPA Lempeni dari tahun 2016 sampai thaun 2019 dan DED TPA Lempeni didapatkan dari unit pelaksana TPA Lempeni, Lumajang atau DLH Kabupaten Lumajang. *Detail Engineering Design* (DED) yang dibutuhkan terkait luas sel TPA, pengurukan dan penutupan timbunan sampah (*landfill cap*), dan lapisan *landfill* liner. Data jumlah Penduduk Kabupaten Lumajang dan data curah hujan dalam 10 tahun terakhir diperoleh dari BPS Kabupaten Lumajang.

3.3.2. Pengumpulan Data Primer

Data Primer yang dibutuhkan dapat meliputi beberapa hal berikut:

A. Timbulan Sampah TPA Lempeni

Timbulan sampah di TPA Lempeni akan dihitung dengan menggunakan metode *weigh-volume analysis*. Bila tersedia jembatan timbang, maka jumlah sampah yang masuk ke TPA dapat diketahui dengan mudah dari waktu ke waktu. Jumlah sampah yang harian digabung dengan perkiraan area yang dilayani dimana data penduduk dan sarana umum terlayani dapat dicari, sehingga dapat diperoleh satuan timbulan sampah per ekuivalensi penduduk. Bila jembatan timbang tidak tersedia, maka pengukuran pendekatan dapat dilakukan dengan mendata volume truk yang masuk dan densitas sampah di dalam truk (Damanhuri & Padmi, 2018). Dengan menggunakan metode ini, jumlah truk yang masuk ke TPA Lempeni, akan dicatat

digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id

seluruhnya yang kemudian hasilnya akan dikalikan dengan volume masing-masing truk pengangkut sampah.

B. Komposisi sampah TPA Lempeni.

Data komposisi sampah diperlukan sebagai parameter input dalam model GasSim. Pengambilan sampel untuk komposisi sampah berdasarkan SNI 19-3964-1995 mengenai "Metode Pengambilan dan Pengukuran Contoh Timbulan Sampah Perkotaan". Sampah yang dibutuhkan dalam sekali sampling adalah sebesar 100 kg. Sampah di ambil secara spesifik dari truk pengangkut sampah dari daerah yang spesifik sehingga tidak bercampur dengan sampah yang berasal dari daerah yang berbeda. Pengambilan sampel dilakukan secara langsung pada saat truk dalam kondisi *unloading*. Sampah diambil dengan metode perempatan (*quarterly method*), yaitu mengaduk sampah, kemudian dibagi menjadi 4 bagian, dan diambil secara rata dari masing-masing bagian hingga mencapai 100 kg. Kemudian sampah dipilah berdasarkan komposisinya dan ditimbang masing-masing berat sesuai jenisnya per wilayah kemudian didapatkan rata-ratanya. Sampah dipilah berdasarkan komposisi sampah sesauai keperluan input untuk model GasSim (sesuai Tabel 3.1 berikut ini).

Tabel 3. 1 Komposisi sampah berdasarkan keperluan input untuk model GasSim Lite versi 1.54

No.	Fraksi Sampah	Komposisi
1.	Kertas dan Card	Kertas koran
		Kertas majalah
		Kertas lain
		Liquid carton
		Card packaging
		Other card
2.	Tekstil	Tekstil
3.	Lain-lain	Popok sekali pakai
		Lain-lain yang mudah terbakar

digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id

No.	Fraksi Sampah	Komposisi
4.	Sampah organic mudah terurai	Sampah taman
		Lain-lain
5.	Partikel halus menyerupai Pasir (fines)	10mm fines
6.	Lumpur	Sewage sludge
		Composted organic
		Incinerator ash
7.	Non-degradable	Non-degradable

Selanjutnya masing-masing komposisi sampah yang telah dipilah di timbang. Presentase masing-masing komposisi sampah dapat dihitung dengan rumus:

$$\%jenis\ sampah = \frac{berat\ sampah\ tiap\ jenis\ (kg)}{total\ berat\ sampah\ (kg)} x100\% \quad (3.1)$$

C. Densitas sampah TPA Lempeni.

Pengambilan sampel dilakukan secara langsung pada saat truk dalam kondisi *unloading*. Sampah diambil dengan metode perempatan (*quarterly method*), yaitu mengaduk sampah, kemudian dibagi menjadi 4 bagian, dan diambil secara rata dari masing-masing bagian hingga mencapai 100 kg. Kemudian sampah yang telah terkumpul dimasukkan ke dalam kotak densitas 500 L dan dihentakkan sebanyak 3 kali dan dicatat jumlah volume sampah. Untuk menghitung densitas sampah, maka digunakan rumus berikut:

$$densitas\ sampah\ (\frac{kg}{m^3}) = \frac{berat\ sampah\ (kg)}{volume\ sampah\ setelah\ dihentakkan\ (m^3)} \quad (3.2)$$

D. Kadar air sampah

Kadar air diperoleh dari penimbangan kehilangan air pada pemanasan 105°C, setelah berat sampah stabil. Uji kadar air pada sampah dibutuhkan waktu bisa lebih dari 24 jam (Damanhuri & Padmi, 2015). Pengambilan berat sampel sampah untuk uji kadar air sesuai dengan SNI 19-3964-1994.

digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id

3.3.3. Pengolahan Data

Setelah data primer dan data sekunder diperoleh, penelitian dilanjutkan ke tahap pengolahan dan analisis data sebagai berikut:

A. Proyeksi Jumlah Penduduk

Untuk mendapatkan jumlah timbulan sampah, maka akan dilakukan proyeksi timbulan sampah dengan proyeksi penduduk. Proyeksi jumlah penduduk dapat dihitung dengan metode aritmatika, metode geomteri, dan metode *least* square. Pemilihan metode proyeksi penduduk didasarkan pada nilai koefisien korelasi (r) sari salah satu metode yang paling mendekati nilai 1. Adapun rumus perhitungan ketiga metode proyeksi penduduk tersebut adalah sebagai berikut:

a. Metode Aritmatika

$Pt = Po\ (1 + r(t))$ ..... (3.3)

Dimana :

Pt = Jumlah penduduk tahun t

Po = Jumlah penduduk tahun dasar

r = Angka pertumbuhan penduduk

t = Waktu

b. Metode Geometri

$Pt = (Po\ (1+r)^t)$ ..... (3.4)

Dimana :

Pt = Jumlah penduduk tahun t

Po = Jumlah penduduk tahun dasar

r = Angka pertumbuhan penduduk

t = Waktu

c. Metode Least Square

$Pt = a + bN$ ..... (3.5)

Dimana:

Pt = Jumlah penduduk tahun t

N = Selisih tahun proyeksi

digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id

B. Proyeksi Berat Sampah

Proyeksi berat sampah adalah prediksi berat sampah yang masuk TPA Lempeni pada tahun-tahun mendatang. Berat Sampah dari tahun ke tahun diperlukan sebagai *data input* untuk pemodelan LANDGEM dan GasSim. Proyeksi berat sampah diketahui melalui persamaan berikut:

$$M_t = Fp \times T \times P_t \times Y \quad (3.6)$$

Dimana:

M_t = Berat sampah yang masuk ke TPA pada tahun t (kg atau m^3)

T = Timbulan sampah rata-rata (kg/(orang.hari) atau m^3/(orang.hari))

P_t = Proyeksi Jumlah Penduduk pada tahun t (orang)

Fp = Faktor pelayanan (%)

Y = Jumlah hari dalam satu tahun (hari)

C. Perhitungan Infiltrasi

Infiltrasi adalah meresapnya air hujan ke dalam tanah. Infiltrasi akan mempengaruhi kelembapan sampah yang telah ditimbun di TPA. Kelembapan sampah yang tinggi dapat meningkatkan laju pembentukan gas landfill (Majdinasab dkk., 2017). Infiltrasi adalah hasil dari curah hujan dikurangi aliran *run off* dan evapotranspirasi (Hall, 2007). Evapotranspirasi dihitung dengan metode neraca air Thorntwaite-Matter (Jauhari, 2016), melalui persamaan berikut:

$$I = P - Ro - PET \quad (3.7)$$

$$Ro = P \times Cr \quad (3.8)$$

$$HI = \sum_{i=1}^{n} \left(\frac{T}{5}\right)^{1,514} \quad (3.9)$$

$$a = (0,675 \times 10^{-6} HI^3) - (0,77 \times 10^{-4} HI^2) + (0,01792 \times HI) + 0,49239 \quad (3.10)$$

$$PET = 16,2 \left(\frac{10T}{HI}\right)^a \quad (3.11)$$

Dimana :

I = Nilai infiltrasi (mm)

Ro = Run off (mm)

PET = Potensi evapotranspirasi (mm)

digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id

P = Curah hujan bulanan (mm)

Cr = Koefisien *run-off* sesuai jenis lahan (berdasarkan tabel Tabel 3.2)

HI = Heat index

T = Suhu rata-rata (^oC)

Tabel 3. 2 Koefisien Runoff berdasarkan karakteristik pemukaan tanah

Karakteristik Permukaan Tanah	Koefisien Runoff
Asphalt	0,70 – 0,95
Concrete	0,80 – 0,95
Brick	0,70 – 0,85
Grassland (heavy soil)	
Flat	0,13 – 0,25
Steep	0,25 – 0,25
Grassland (sandy soil)	
Flat	0,05 – 0,15
Steep	0,15 – 0,20

Sumber: (Drainage Service Department, 2018)

3.3.4. Pemodelan dengan LANDGEM

LANDGEM yang digunakan dalam penelitian ini adalah LANDGEM versi 3.02. Selain dapat memperkirakan konsentrasi gas CH_4 dan CO_2, model LANDGEM juga dapat memperkirakan konsentrasi ammonia, sulfida, dan *Non-Methane Volatile Organic Compound* (NMVOC) (Majdinasab dkk., 2017). Model LandGEM memberikan hasil yang kasar karena input untuk modelnya hanya bergantung pada jumlah sampah (*bulk waste)* yang masuk TPA (Sri Wahyono, 2015). Berdasarkan LandGEM User's Guide (Amy dkk., 2005), pemodelan gas *landfill* dengan menggunakan model LANDGEM membutuhkan data input sebagai berikut:

digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id

A. *Landfill Open Year*

Landfill Open Year adalah input data yang menunjukkan tahun dimana TPA mulai beroperasi menerima sampah. *Landfill Open Year* harus diinput dengan format tahun dengan 4 digit angka.

B. *Landfill Closure Year*

Landfill Closure Year menunjukkan tahun dimana TPA berhenti beroperasi. LANDGEM menyediakan dua pilihan untuk jenis input data *Landfill Closure Year*, yaitu:

- Tahun terakhir penerimaan sampah di TPA
- Perkiraan tahun dimana TPA sudah mencapai batas kapasitas desain

C. *Methane Generation Rate*

Methane Generation Rate (k) adalah variabel yang menunjukkan laju pembentukan metan. Dalam LANDGEM, nilai *Methane Generation Rate* dinyatakan dalam *year*$^{-1}$. Semakin tinggi nilai k, semakin cepat laju pembentukan metan. Nilai k yang tersedia dalam model LANDGEM disajikan dalam Tabel 3.3. Area kering yang dimaksud dalam Tabel 3.3 adalah wilayah dengan curah hujan kurang dari 25 inch (63,5 cm) dalam satu tahun.

Tabel 3. 3 Nilai Default untuk *Methane Generation Rate (k)*

Nilai Default	Tipe landfill	Nilai k (year^{-1})
CAA (Clean Air Act)	Konvensional	0,05
CAA (Clean Air Act)	Area Kering	0,02
Inventory	Konvensional	0,04
Inventory	Area Kering	0,02
Inventory	AreaBasah (Bioreactor)	0,70

Sumber: (Amy dkk., 2005)

D. *Potential Methane Generation Capacity* (Lo)

Potential Methane Generation Capacity (Lo) bergantung pada jenis dan komposisi sampah. Semakin tinggi selulos yang terkandung dalam sampah, maka

digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id

semakin tinggi nilai Lo. Nilai *default* untuk Lo, dalam model LANDGEM, disajikan dalam Tabel 3.4. Nilai Lo dinyatakan dalam meter kubik per megagram (m^3/Mg).

Tabel 3. 4 Nilai Default *untuk Methane Generation Capacity (Lo)*

Nilai Default	Tipe landfill	Nilai Lo (m^3/Mg)
CAA (Clean Air Act)	Konvensional	170
CAA (Clean Air Act)	Area Kering	170
Inventory	Konvensional	100
Inventory	Area Kering	100
Inventory	Area Basah (Bioreactor)	96

Sumber: (Amy dkk., 2005)

E. Konsentrasi *Non-Methane Organic Compound* (NMOC)

Konsentrasi NMOC adalah total konsentrasi komponen gas landfill yang bukan gas Metan. Konsentrasi NMOC ditentukan oleh jenis sampah yang ditimbun di TPA dan berbagai reaksi yang menghasilkan berbagai senyawa dari dekomposisi sampah secara anaerobic. Konsentrasi NMOC dinyatakan dalam satuan *parts per million volume* (ppm_v). Nilai konsentrasi NMOC berdasarkan CCA (*Clean Air Act*) adalah 4000 ppm_v. Nilai konsentrasi NMOC adalah 600 ppm_v apabila operasional TPA tidak disertai dengan penimbunan limbah berbahaya. Nilai konsentrasi NMOC adalah 2400 ppm_v apabila apabila operasional TPA disertai dengan penimbunan limbah berbahaya. Nilai *default* konsentrasi NMOC adalah berdasarkan nilai CAA.

F. Kandungan Metan (*Methane Content*)

Dalam LANDGEM, gas *landfill* diasumsikan memiliki kandungan Metan 50% dan Karbon dioksida sekitar 50%, dengan kandungan berbagai gas lain yang termasuk dalam NMOC. Nilai *Methane Content* bisa berdasarkan nilai spesifikasi pengguna (*user-specified value*).

digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id

G. *Waste Acceptance Rates*

Waste Acceptance Rates adalah total penerimaan sampah dalam satu tahun. Nilai *Waste Acceptance Rates* dinyatakan dalam megagram per tahun (Mg/*year*) atau ton per tahun (tons/*year*).

H. Jenis komponen gas

Dalam satu kali *running*, model LANDGEM hanya mampu menunjukkan hasil dari 4 jenis gas yang telah ditentukan dalam *worksheet* USER INPUT. Dalam model LANDGEM tersedia 46 komponen gas yang dapat diketahui konsentrasinya dalam gas *landfill*. Empat puluh enam komponen gas tersebut disajikan dalam Tabel 3.5.

Tabel 3. 5 Gas inventory *berdasarkan model LANDGEM*

Kandungan Senyawa dalam Gas *Landfill*	Konsentrasi (*ppmv*)	Berat Molekul (gram/mol)
Total landfill gas	-	-
Methane	-	16,04
Carbon dioxide	-	44,01
NMOC	4.000	86,18
1,1,1-Trichloroethane (methyl chloroform)	0,48	133,41
1,1,2,2-Tetrachloroethane	1,1	167,85
1,1-Dichloroethane (ethylidene dichloride)	2,4	98,97
1,1-Dichloroethene (vinylidene chloride)	0,20	96,94
1,2-Dichloroethane (ethylene dichloride)	0,41	98,96
1,2-Dichloropropane (propylene dichloride)	0,18	112,99
2-Propanol (isopropyl alcohol)	50	60,11
Acetone	7,0	58,08
Acrylonitrile	6,3	53,06
Benzene - No or Unknown Co-disposal	1,9	78,11
Benzene - Co-disposal	11	78,11
Bromodichloromethane	3,1	163,83
Butane	5,0	58,12

digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id

Kandungan Senyawa dalam Gas *Landfill*	Konsentrasi (*ppmv*)	Berat Molekul (gram/mol)
Carbon disulphide	0,58	76,13
Carbon monoxide	140	28,01
Carbon tetrachloride	4,0E-03	153,84
Carbonyl sulphide	0,49	60,07
Chlorobenzene	0,25	112,56
Chlorodifluoromethane	1,3	86,47
Chloroethane (ethyl chloride)	1,3	64,52
Chloroform	0,03	119,39
Chloromethane	1,2	50,49
Dichlorobenzene	0,21	147
Dichlorodifluoromethane	16	120,91
Dichlorofluoromethane	2,6	102,92
Dichloromethane (methylene chloride)	14	84,94
Dimethyl sulfide (methyl sulfide)	7,8	62,13
Ethane	890	30,07
Ethanol	27	46,08
Ethyl mercaptan (ethanethiol)	2,3	62,13
Ethylbenzene	4,6	106,16
Ethylene dibromide	1,0E-03	187,88
Fluorotrichloromethane	0,76	137,38
Hexane	6,6	86,18
Hydrogen sulphide	36	34,08
Mercury (total)	2,9E-04	200,61
Methyl ethyl ketone	7,1	72,11
Methyl isobutyl ketone	1,9	100,16
Methyl mercaptan	2,5	48,11
Pentane	3,3	72,15

digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id

Kandungan Senyawa dalam Gas *Landfill*	Konsentrasi (*ppmv*)	Berat Molekul (gram/mol)
Perchloroethylene (tetrachloroethylene)	3,7	165,83
Propane	11	44,09
t-1,2-Dichloroethene	2,8	96,94
Toluene - No or Unknown Co-disposal	39	92,13
Toluene - Co-disposal	170	92,13
Trichloroethylene (trichloroethene)	2,8	131,40
Vinyl chloride	7,3	62,50
Xylenes	12	106,16

Sumber: (Amy dkk., 2005)

3.3.5. Pemodelan dengan GasSim

Model GasSim yang digunakan dalam penelitian ini adalah GasSim Lite versi 1.54. Selain dapat memperkirakan konsentrasi gas CH_4 dan CO_2, model LANDGEM juga dapat memperkirakan konsentrasi ammonia, sulfida, dan *Non-Methane Volatile Organic Compound* (NMVOC) (Majdinasab dkk., 2017). Berbeda dengan LANDGEM yang hanya membutuhkan input *bulk waste*, model GasSim membutuhkan input data yang lebih beragam terkait kondisi teknis *landfill* dan kondisi sampah yang ditimbun di *landfill.*

Data yang diinput dalam model GasSim terdiri dari 10 kelompok data, yaitu *Infiltration, Landfill Characteristics, Source, Gas Plant, Tier1-Screening, Lateral Migration, Vegetation Stress, Atmospheric Dispersion, Exposure,* dan *Global Impact.* Dalam penelitian, karena hanya meninjau komposisi gas *landfill* pada penimbunan sampah di TPA Lempeni, maka hanya diperlukan 3 kelompok data untuk memodelkan gas *landfill,* antara lain *Infiltration, Source,* dan *Landfill Characteristics*. Berdasarkan GasSim User's Manual (Hall, 2007), pemodelan gas *landfill* dengan menggunakan model GasSim membutuhkan data input sebagai berikut:

digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id

A. *Infiltration*

Infiltration adalah air hujan yang meresap ke dalam timbunan sampah di TPA. Input data *Infiltration* adalah banyaknya air yang meresap ke dalam *landfill* dalam satu tahun dengan satuan mm/tahun. Dalam tahap ini, volume lindi yang diresirkulasikan dan *leachate head* dapat diabaikan.

B. *Landfill Characteristics Inputs*

Landfill Characteristics Inputs adalah input data berupa informasi mengenai desain *landfill*. *Landfill Characteristics Inputs* terbagi menjadi 2 bagian, yaitu *Landfill Geometry* dan *Engineered Controls.*

- *Landfill Geometry* adalah input data berupa informasi tentang ukuran area *landfill*.
- *Engineered Controls* adalah input data berupa informasi konstruksi *liner* dan *cap landfill*. Nilai konduktivitas hidrolik pada umumnya untuk setiap jenis *cap*/*liner* disajikan dalam Tabel 3.6. Selain itu, *Biological Methane Oxidation*, juga perlu dimasukkan dalam data input *Engineered Controls*, dengan rekomendasi nilai 10%.

Tabel 3. 6 Nilai Konduktivitas Hidrolik untuk jenis material cap *dan* liner

Jenis material	Nilai konduktivitas hidrolik (m/s)
Clay	1×10^{-9}
Bentonite	1×10^{-10} - 1×10^{-11}
Dense Asphaltic Lining (DAC)	1×10^{-11} - 1×10^{-12}
Geomembran (without defects)	1×10^{-14} - 1×10^{-16}
Geomembran	1×10^{-12} - 1×10^{-14}

Sumber: (Hall, 2007)

digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id

C. *Source*

Source adalah input data tentang informasi sampah yang masuk dan ditimbun di TPA. Informasi sampah yang dibutuhkan adalah komposisi sampah, persentase gas karbon dioksida dan gas metan, laju penguraian selulosa, dan *waste moisture content*.

- Komposisi sampah (*Waste composition*): Data yang diperlukan adalah jumlah sampah yang masuk setiap tahun (ton), sumber sampah (*Breakdown)*, dan komposisi sampah.
- Persentase gas Karbon dioksida dan gas Metan: Data yang diperlukan adalah asumsi persentase kandungan gas Karbon dioksida dan gas Metan.
- Laju penguraian selulosa (*Celulose Decay Rates*): Data yang diperlukan adalah asumsi nilai konstanta degradasi selulosa (k). Nilai k bergantung pada tingkat kelembapan dari sampah yang ditimbun. Nilai *default* untuk *Celulose Decay Rates* dalam model GasSim disajikan dalam Tabel 3.7.
- *Waste Moisture Content*: Data yang diperlukan adalah densitas sampah, efektivitas porositas, *leachate head*, konduktivitas hidraulik, kapasitas adsorptive, dan resirkulasi lindi. Data default untuk input data *Waste Moisture Content* disajikan dalam Tabel 3.8.

Tabel 3. 7 Nilai Default *Untuk Konstanta* Cellulose Decay Rates

Tingkat kelembapan sampah	Kategori *Celulose Decay Rates*	Konstanta *Cellullose Decay Rates*	Waktu paruh *Cellulose Decay Rates*, $t^{1/2}$
Dry (kandungan air <30%)	Fast Moderate Slow	k = 0,076 k = 0,046 k = 0,013	$t^{1/2}$ = 9 $t^{1/2}$ = 15 $t^{1/2}$ = 53
Average (kandungan air antara 30% - 60%)	Fast Moderate Slow	k = 0,116 k = 0,076 k = 0,046	$t^{1/2}$ = 6 $t^{1/2}$ = 9 $t^{1/2}$ = 15
Wet (kandungan air >60%)	Fast Moderate Slow	k = 0,694 k = 0,116 k = 0,076	$t^{1/2}$ = 1 $t^{1/2}$ = 6 $t^{1/2}$ = 9

Sumber: (Hall, 2007)

digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id

Tabel 3. 8 Nilai Default *untuk* Waste Moisture Content

Parameter	Range Nilai Default
Densitas sampah (ton/m^3)	0,8 – 1,2
Efektifitas porositas (%)	1 – 20
Kapasitas adsorptive (%)	1 – 5
Konduktivitas hidraulik (m/s)	10^{-9} - 10^{-5}
Leachate head (m)	1
Resirkulasi lindi (m^3/jam)	*berdasarkan data di lapangan

Sumber: (Hall, 2007)

D. *Trace Gas Inventory*

Trace Gas Inventory adalah komponen gas penyusun gas *landfill*, selain Metan dan Karbon dioksida. *Trace Gas Inventory* dalam model GasSim juga dapat memperkirakan gas hasil emisi dari pembakaran gas *landfill*. Dalam penelitian ini, *Trace Gas Inventory* yang dianalisis adalah gas *landfill* yang belum dikelola. Konsentrasi *default* untuk komponen gas dalam *Trace Gas Inventory* berdasarkan model GasSim disajikan dalam Tabel 3.9.

Tabel 3. 9 Konsentrasi Default untuk Trace Gas Inventory *dalam model GasSim*

Komponen gas	Jenis Distribusi	Konsentrasi rata-rata (mg/m^3)	Konsentrasi minimum (mg/m^3)	Konsentrasi maksimum (mg/m^3)
Senyawa Anorganik				
Carbon disulphide	Log triangular	1,0	1,0 x 10^{-3}	48
Carbon monoxide	Single	1124,5		
Total Chloride (dalam HCl)	Log triangular	79,5	850	14,7
Total Fluoride (dalam HF)	Log triangular	251,2	735	5,6

digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id

Komponen gas	Jenis Distribusi	Konsentrasi rata-rata (mg/m^3)	Konsentrasi minimum (mg/m^3)	Konsentrasi maksimum (mg/m^3)
Nitrogen oxides (selain N_2O – dalam NO_2)	*gas hasil pembakaran			
Sulphur (dalam SO_2)	Log uniform		430,5	30,8
Senyawa Organik				
Acetaldehyde (ethanal)	Log uniform		$2,5 \times 10^{-1}$	18
Benzene	Log triangular	6,6	$1,2 \times 10^{-2}$	114
Benzo(a)pyrene	*gas hasil pembakaran			
Butadiene (dalam 1,3-Butadiene)	Log triangular	1,45	$5,0 \times 10^{-2}$	20
Carbon tetrachloride (tetrachloromethane)	Log triangular	0,94	$5,0 \times 10^{-3}$	2,5
Chlorofluorocarbons (CFC)	Log triangular	102,30	$6,0 \times 10^{-2}$	1230
Chloroform (trichloromethane)	Log triangular	1,00	$4,0 \times 10^{-2}$	50
para-Dichlorobenzene (dalam 1,4-Dichlorobenzene)	Log triangular	$2,51 \times 10^{-2}$	$2,5 \times 10^{-2}$	14,8
Dichloromethane (Methylene chloride)	Log triangular	77,6	$3,9 \times 10^{-3}$	3000

digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id

Komponen gas	Jenis Distribusi	Konsentrasi rata-rata (mg/m^3)	Konsentrasi minimum (mg/m^3)	Konsentrasi maksimum (mg/m^3)
Dimethyl disulphide	Log triangular	6,03	$2,0 \times 10^{-2}$	40
Dioxins dan furan	*gas hasil pembakaran			
Ethyl toluene	Log uniform		$7,0 \times 10^{-4}$	38
Ethylene	Uniform		13	42
Ethylene dichloride	Log triangular	1,41	$5,0 \times 10^{-2}$	35
Formaldehyde (methanal)	Log triangular	1,6	$5,0 \times 10^{-2}$	29
Halons	-			
Hexachlorocyclohexane	-			
Hydrochlorofluorocarbon (HCFC)	Log triangular	128,8	$2,0 \times 10^{-2}$	91
Hydrofluorocarbon (HFC)	-			
Methyl chloride (chloromethane)	Log triangular	1	$5,0 \times 10^{-2}$	26
Methyl chloroform (1,1,1-trichloroethane)	Log triangular	1	$5,0 \times 10^{-3}$	76
Non-methane volatile organic compounds (NMVOC)	Log uniform		$5,0 \times 10^{-2}$	11

digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id

Komponen gas	Jenis Distribusi	Konsentrasi rata-rata (mg/m^3)	Konsentrasi minimum (mg/m^3)	Konsentrasi maksimum (mg/m^3)
Pentane	Log triangular	16	$2,0 \times 10^{-2}$	68
Pentene	Log triangular	1	$5,0 \times 10^{-3}$	46
Perfluorocarbon	-			
Phenol	-			
Polycyclic aromatic hydrocarbons (dalam Naphthalene)	Log triangular	1,1	$5,0 \times 10^{-3}$	21
Tetrachloroethane (dalam 1,1,2,2-Tetrachloroethane)	Log triangular	8,91	$5,0 \times 10^{-2}$	264
Tetrachloroethylene (tetrachloroethylene)	Log triangular	26,3	$7,0 \times 10^{-4}$	2200
Toluene	Log triangular	195	$2,2 \times 10^{-3}$	1700
Trichlorobenzene	Single	$5,0 \times 10^{-3}$		
Trichloroethylene	Log triangular	14,13	$1,2 \times 10^{-3}$	312
Trimethylbenzene	Log triangular	$2,51 \times 10^{-2}$	$7,0 \times 10^{-4}$	187
Vinyl chloride (Chloroethene, Chloroethylene)	Log triangular	8,12	$1,9 \times 10^{-2}$	264
Xylene	Log triangular	128,8	$4,0 \times 10^{-4}$	1100

Sumber: (Hall, 2007)

digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id

3.3.6. Perkiraan Potensi Dampak Lingkungan

Penelitian ini menghitung potensi dampak lingkungan gas *landfill*, antara lain potensi *Global Warming*, penipisan lapisan ozon, asidifikasi, *photochemical ozone formation*, ekotoksisitas, dan toksisitas terhadap manusia. Perkiraan potensi dampak lingkungan dihitung menggunakan metode *impact assessment* berdasarkan CML-IA *baseline* versi 3.05. Metode ini dipilih karena mampu memperkirakan dampak spesifik yang sesuai dengan keperluan perhitungan dampak lingkungan dalam penelitian ini (Su, 2020).

Perhitungan potensi dampak lingkungan dari gas *landfill* didapatkan dengan mengalikan beban polutan yang dikeluarkan ke lingkungan dengan faktor potensi untuk masing-masing kategori dampak (Guinée dkk., 2004). Beban polutan terhadap lingkungan diperoleh dari inventori gas *landfill* hasil pemodelan LANDGEM dan GasSim. Faktor potensi untuk masing-masing kategori dampak diperoleh dari CML-IA *baseline* versi 3.05. Uraian detail mengenai faktor potensi dampak disajikan dalam Tabel 3.10.

Tabel 3. 10 Faktor Potensi Untuk Masing-Masing Kategori Dampak

No.	Kategori dampak	Faktor potensi	Satuan faktor potensi	keterangan
1.	Global Warming	Global Warming potential (GWP)	kg CO2 eqv/kg	Tersedia pada **lampiran I**
2.	Penipisan lapisan ozon	Ozone Depletion Potential (ODP)	kg CFC-11 eqv/kg	Tersedia pada **lampiran II**
3.	Asidifikasi	Acidification potential (AP)	kg SO_2 eqv/kg	Tersedia pada **lampiran I**
4.	Photochemical pollution	Photochemical Ozone Creation Potential (POCP)	kg Ethylene eqv/kg	Tersedia pada **lampiran III**

digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id

No.	Kategori dampak	Faktor potensi	Satuan faktor potensi	keterangan
5.	Toksisitas terhadap manusia	Human toxicity potential (HTP)	kg 1,4-Dichlorobenzene eqv/kg	Tersedia pada **lampiran IV**

Sumber; (Guinée dkk., 2004)

05, 2009,

digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id

BAB IV
HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Gambaran Umum Wilayah Kabupaten Lumajang

Kabupaten Lumajang adalah daerah yang berada di wilayah bagian selatan Provinsi Jawa Timur. Secara astronomis, Kabupaten Lumajang terletak antara 7° 52' sampai dengan 8° 23' Lintang Selatan dan antara 112° 50' sampai dengan 113° 22' Bujur Timur. Kabupaten Lumajang memiliki luas wilayah mencapai 179.090 km^2 yang terdiri dari 21 kecamatan, 195 desa dan 7 kelurahan. Berdasarkan batas administratif, Kabupaten Lumajang memiliki batas utara dengan Kabupaten Probolinggo, batas timur dengan Kabupaten Jember, batas selatan dengan Samudera Hindia, dan batas barat dengan Kabupaten Malang (BPS Kabupaten Lumajang, 2005).

Secara topografi kabupaten Lumajang terbagi ke dalam 4 daerah, yaitu : daerah gunung, pegunungan, dataran fluvial dan dataran alluvial. Daerah pegunungan terdapat di daerah ranuyoso, tempursari, sekitar gunung semeru, sekitar gunung tengger dan lemongan. Sementara itu, Kecamatan Lumajang, Sumbersuko dan Sukodono tergolong ke dalam dataran fluvial. Sedangkan dataran alluvial terdapat pada kecamatan Rowokangkung, Jatiroto, Yosowilangun dan sepanjang pantai mulai dari Yosowilangun sampai dengan Tempursari. Wilayah Kabupaten Lumajang beriklim tropis yang berdasarkan klasifikasi Schmid dan Ferguson tergolong pada iklim tipe C dan sebagian kecamatan lainnya beriklim D. Jumlah curah hujan tertinggi di Kabupaten Lumajang pada tahun 2018 yaitu 384 mm^3 di Bulan Januari. Rata-rata suhu tertinggi yaitu 32,850 di Bulan Maret dan ratarata suhu terendah yaitu 24,820 di Bulan Juli (BPS Kabupaten Lumajang, 2005).

Jumlah penduduk Kabupaten Lumajang berdasarkan Proyeksi Penduduk Indonesia 2010-2035 yaitu sebesar 1.042.395 jiwa pada tahun 2019. Laju pertumbuhan penduduk per tahun 2018-2019 adalah 0,25%. Jumlah penduduk terbanyak terdapat pada Kecamatan Pasirian, yaitu 92.640 jiwa, diikuti Kecamatan Lumajang 87.195 jiwa dan Tempeh 86.684 jiwa (BPS Kabupaten Lumajang, 2005).

digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id

4.2. Kondisi Eksisting Pengelolaan Sampah di Kabupaten Lumajang

Pelayanan pengelolaan sampah yang dilaksanakan oleh DLH Kabupaten Lumajang meliputi pengumpulan sampah dari fasilitas umum, pengangkutan sampah dari TPS (Tempat Pengumpulan Sementara) ke TPA (Tempat Pemrosesan Akhir), dan pengelolaan TPA. Pengumpulan sampah dari sumber sampah ke TPS dilakukan oleh perorangan atau petugas kebersihan penyampon. Pola operasional penanganan sampah Kabupaten Lumajang masih bertumpu pada penanganan sampah dari sumber sampai di TPA. Tahapan operasional penanganan sampah meliputi pewadahan, pengumpulan, pengangkutan, pengolahan dan pemrosesan akhir di TPA. Secara umum kondisi eksisting penanganan persampahan di Kabupaten Lumajang diuraikan di bawah ini.

4.2.1. Sumber Sampah

Berdasarkan sumbernya, sampah di Kabupaten Lumajang dibagi menjadi sampah dari kegiatan permukiman (rumah tangga) dan kegiatan non permukiman (toko, sekolah, taman, fasilitas umum dll). Berdasarkan Peraturan Pemerintah No. 81 Tahun 2012 tentang Pengelolaan Sampah Rumah Tangga dan Sampah Sejenis Sampah Rumah Tangga, jumlah dan jenis fasilitas di Kabupaten Lumajang yang berpotensi menghasilkan sampah adalah sebagai berikut:

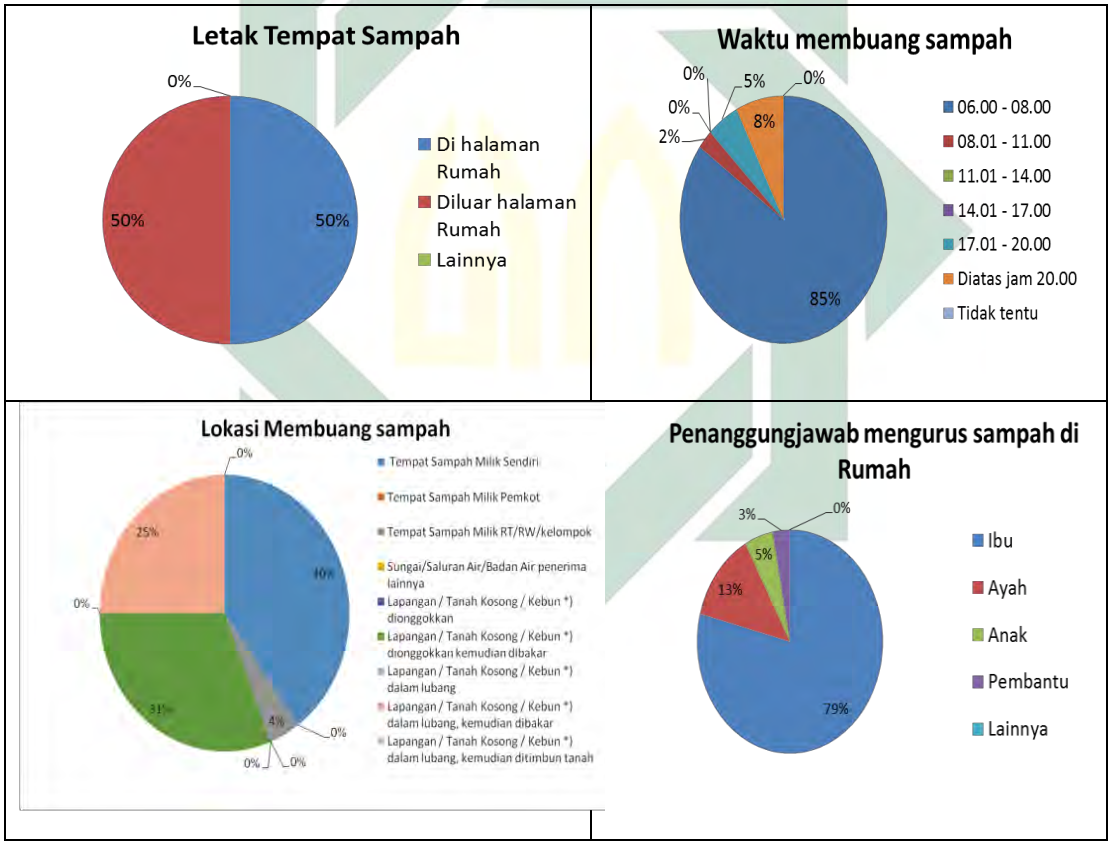
1. Fasilitas komersial: pasar 11 unit, hotel 13 unit, restoran 9 unit, dan rumah makan 95 unit.
2. Industri: industri kecil sejumlah 425 usaha dan industri besar sejumlah 55 usaha.
3. Tempat ibadah: masjid 965 unit, musholla 1.515 unit, gereja 51 unit, pura 14 unit, dan wihara 1 unit.
4. Sekolah: SD/MI 581 unit, SMP/MTs 183 unit, SMA/MA 98 unit.
5. Pariwisata: hotel 13 unit, jumlah wisatawan domestik tahun 2017 sejumlah 3.250.890 orang sedangkan wisatawan mancanegara sejumlah 7.480 orang.
6. Fasilitas pelayanan kesehatan: rumah sakit 7 unit, puskesmas 25 unit, posyandu 1.292 unit, puskesmas pembantu 51 unit, dan polindes 148 unit.

Sumber sampah Kabupaten Lumajang umumnya didominasi oleh sampah yang berasal dari kegiatan permukiman dengan mayoritas jenis sampah merupakan sampah

digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id

basah atau sampah organik. Hasil survei tentang sumber sampah di Kabupaten Lumajang disajkan dalam Gambar 4.1. Dari hasil survey Bappeda Lumajang tahun 2019 diperoleh informasi bahwa Pengelolaan Sampah di Sumber Sampah Permukiman sebagai berikut:

1. 79% yang bertanggung jawab mengurus sampah adalah ibu sebanyak sedangkan 13% adalah ayah, dan 8% adalah anak dan pembantu rumah tangga
2. Sebanyak 85% dengan kebiasaan membuang sampah dilakukan pada waktu pagi hari pada jam 06.00 -08.00 wib dan 8% 08.00 sampai jam 11.00 wib.
3. 40 % Lokasi Tempat sampah berada di depan rumah sendiri dan 31% lokasi Tempat sampah berada di lapangan.



Gambar 4. 1 Kondisi Penanganan Sampah di Sumber

Sumber: (Bappeda Lumajang, 2020)

digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id

4.2.2. Cakupan Daerah Pelayanan, Persentase Tingkat Pelayanan dan Komposisi Sampah

Area pelayanan sistem pengelolaan sampah di Kabupaten Lumajang saat ini sudah melayani kawasan perkotaan dan perdesaan. Area Pelayanan meliputi 48 Desa dan 58.000 Jiwa. Area pelayanan meliputi permukiman dan perkantoran dengan persentase layanan 31,5%. Perkiraan volume sampah dan persentase pelayanan sampah untuk setiap kecamatan di Kabupaten Lumajang disajikan dalam Tabel 4.1. Sampah Kabupaten Lumajang umumnya didominasi oleh sampah yang berasal dari kegiatan permukiman dengan mayoritas jenis sampah merupakan sampah basah atau sampah organik. Komposisi Sampah permukiman dan non-permukiman di Kabupaten Lumajang disajikan dalam Gambar 4.2.

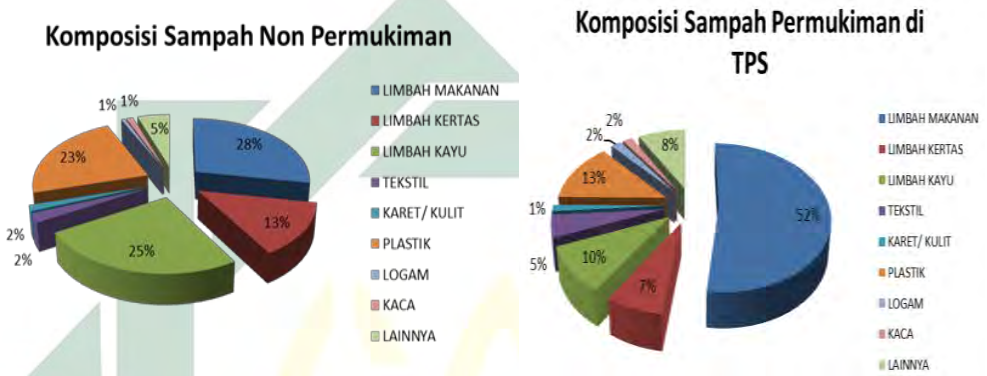
Tabel 4. 1 Perkiraan Volume Sampah dan Persentase Pelayanan Sampah untuk Setiap Kecamatan di Kabupaten Lumajang 2017 - 2019

No	Kecamatan	Volume Timbulan Sampah (m^3/hari)			Terlayani (m^3/hari)		
		Perkotaan	Pedesaan	Jumlah	Perkotaan	Pedesaan	Total
1	Tempursari	81,04	54,66	135,70	-	-	-
2	Pronojiwo	49,31	89,79	139,10	30,22	0,00	30,22
3	Candipuro	139,74	117,57	257,31	0,40	-	0,40
4	Pasirian	111,07	229,58	340,65	87,52	0	87,52
5	Tempeh	92,56	149,68	242,24	31,53	47	78,65
6	Lumajang	236,54	65,88	302,42	248,25	12,45	260,70
7	Sumbersuko	65,91	71,71	137,63	69,18	0	69,18
8	Tekung	93,37	33,07	126,44	18	0	18,37
9	Kunir	106,24	112,44	218,68	83,70	16	99,36
10	Yosowilangun	76,15	152,06	228,21	30,23	-	30,23
11	Rowokang kung	105,18	45,68	150,86	36,08	16	52,05
12	Jatiroto	132,69	46,98	179,66	87	0	87,29
13	Randuagung	89,87	149,99	239,86	42,32	0	42,32
14	Sukodono	102,00	103,04	205,04	44	79	122,79
15	Padang	86,11	52,73	138,84	9	0	8,90
16	Pasrujambe	113,27	38,88	152,15	46	0	45,72
17	Senduro	54,16	129,71	183,87	29,82	0	29,82
18	Gucialit	58,64	47,60	106,24	21,20	0	21,20
19	Kedungjajang	76,35	99,91	176,26	63,91	9	72,46
20	Klakah	103,36	110,17	213,53	33,89	0	33,89

digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id

No	Kecamatan	Volume Timbulan Sampah (m^3/hari)			Terlayani (m^3/hari)		
		Perkotaan	Pedesaan	Jumlah	Perkotaan	Pedesaan	Total
21	Ranuyoso	80,37	112,52	192,90	47	-	46,90
Jumlah		1.973	1.959	3.932	1.059	179	1.238
Tingkat Pelayanan		Persentase tingkat pelayanan			26,9%	4,5%	31,5%

Sumber: (Bappeda Lumajang, 2020)



Gambar 4. 2 Komposisi Sampah di Kabupaten Lumajang

Sumber: (Bappeda Lumajang, 2020)

4.2.3. Rencana Pengurangan dan Penanganan Sampah

Tujuan pengembangan persampahan yaitu mewujudkan lingkungan Kabupaten Lumajang yang bersih, sehat dan mandiri melalui pengelolaan sampah secara komprehensif dan terpadu untuk meminimalisir timbulan, mengurangi dampak negatif dan memberikan manfaat serta nilai ekonomi sampah. Tujuan dan target pengurangan dan penanganan sampah mengacu kepada Jakstrada 2017-2025 dan SDGs Tahun 2030. Berdasarkan zona pelayanan dan tujuan target pengurangan dan penanganan sampah disajikan dalam Tabel 4.2, Tabel 4.3, dan Tabel 4.4.

Tabel 4. 2 Persentase Tingkat Pelayanan Sampah Eksisting

Pelayanan	Eksisting
	2019
Persentase sampah yang terangkut ke TPA	31,5%

digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id

Pelayanan	Eksisting
	2019
Persentase pengurangan dari sumber (%)	20,0%
Persentase sampah terkelola	51%
Persentase sampah tidak terkelola	48,54%

Sumber: (Bappeda Lumajang, 2020)

Tabel 4. 3 Persentase & Target Pelayanan Sampah Tahun 2020-2025

Pelayanan	Rencana Target Pelayanan Jakstrada					
	2020	2021	2022	2023	2024	2025
Persentase sampah yang terangkut ke TPA	37,8%	44,2%	50,6%	57,0%	63,4%	65%
Persentase pengurangan dari sumber (%)	22,5%	24,5%	26,3%	27,2%	28,3%	30%
Persentase sampah terkelola	60%	69%	77%	84%	92%	95%
Persentase sampah tidak terkelola	39,65%	31,26%	23,08%	15,79%	8,30%	5,10%

Sumber: (Bappeda Lumajang, 2020)

Tabel 4. 4 Persentase & Target Pelayanan Sampah Tahun 2025-2039

Pelayanan	Tahun Rencana	
	2025-2029	2030-2039
Persentase sampah yang terangkut ke TPA	65%	65%
Persentase pengurangan dari sumber (%)	32%	35%
Persentase sampah terkelola	97%	100%
Persentase sampah tidak terkelola	3%	0

Sumber: (Bappeda Lumajang, 2020)

4.3. TPA Lempeni

TPA Lempeni terletak di Dusun Kalipancing, Desa Lempeni, Kecamatan Tempeh, Kabupaten Lumajang. TPA Lempeni dibangun pada tahun 2015 dan mulai

digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id

beroperasi sejak tahun 2016. TPA Lempeni dikelola dengan system *sanitary landfill*. Masa layanan TPA Lempeni diperkirakan berakhir pada tahun 2024 (DLH Kabupaten Lumajang, 2019b). Dalam mengelola sampah yang masuk, TPA Lempeni dilengkapi dengan fasilitas pengomposan, instalasi pengolahan air lindi, dan pipa penangkap gas metan. Data sampah yang masuk TPA Lempeni pada tahun 2017 – 2019 disajikan dalam Tabel 4.5.

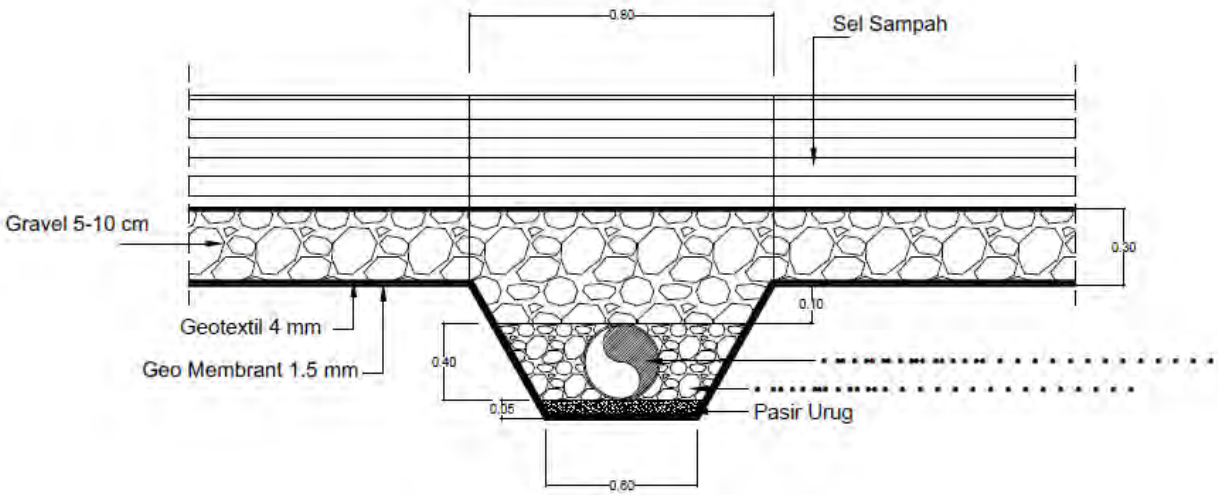
Tabel 4. 5 Data sampah yang masuk TPA Lempeni pada tahun 2017 – 2019

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

Sumber: (DLH Kabupaten Lumajang, 2019a)

Site plan TPA Lempeni disajikan pada Lampiran XIII. TPA Lempeni memiliki luas total 6,69 ha. TPA Lempeni terdiri dari dua zona penimbunan sampah, yaitu zona 1 dan zona 2. Zona 1 adalah zona yang saat ini dioperasikan. Zona 1 memiliki luas 1,95 ha dengan kapasitas 85.500 m^3. Sedangkan, zona 2 memiliki luas 2 ha dengan kapasitas 90.000 m^3. System *liner* TPA Lempeni tersusun dari lapisan *gravel* setebal 30 cm dan lapisan paling bawah berupa geotekstil setebal 4 mm dan geomembrane setebal 1,5 mm. Gambar potongan melintang system *liner* TPA Lempeni disajikan pada Gambar 4.3.

digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id



Gambar 4. 3 Gambar potongan melintang system liner TPA Lempeni

Sumber: (Kementerian PU-Ditjen Cipta Karya-Satuan Kerja PPLP Jawa Timur, 2014)

Pengelolaan sampah di TPA Lempeni menerapkan sistem *sanitary landfill* namun tidak berjalan optimal. Secara teoritis, berdasarkan sistem *sanitary landfill*, penutupan timbunan sampah dengan tanah penutup harusnya dilakukan setiap hari. Di TPA Lempeni, penimbunan sampah dibiarkan terbuka dalam waktu yang lama dan tidak ada upaya penutupan timbunan sampah dengan tanah penutup. Kondisi eksisting timbunan sampah di TPA Lempeni disajikan dalam Gambar 4.4, Gambar 4.5, dan Gambar 4.6.

Gambar 4. 4 Kondisi Timbunan Sampah di TPA Lempeni pada tanggal 21 Juni 2020

digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id

Gambar 4. 5 Kondisi Timbunan Sampah di TPA Lempeni pada tanggal 27 Juni 2020

Gambar 4. 6 Kondisi Timbunan Sampah di TPA Lempeni pada tanggal 02 November 2020

TPA Lempeni juga dilengkapi dengan sistem pengumpul dan pemanfaatan gas *landfill*. Instalasi pengelolaan gas *landfill* disajikan dalam Gambar 4.7. Pengelolaan gas *landfill* di TPA Lempeni dilengkapi dengan pipa pengumpul dan pemanfaatan gas metan. Namun, pengelolaan gas landfill di TPA Lempeni belum beroperasi optimal. Selain timbunan sampah yang dibiarkan terbuka dalam waktu yang lama, beberapa pipa gas *landfill* juga ditemukan patah/terpotong (lihat Gambar 4.8).

digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id

(a) (b) (c)

Gambar 4. 7 Instalasi Pengolahan Gas Metan: (a) Pipa Pengumpul Gas Metan, (b)Ruang Pipa Gas Metan, dan (c) Kompor pemanfaatan gas metan TPA Lempeni

Gambar 4. 8 Pipa gas landfill yang patah/terpotong

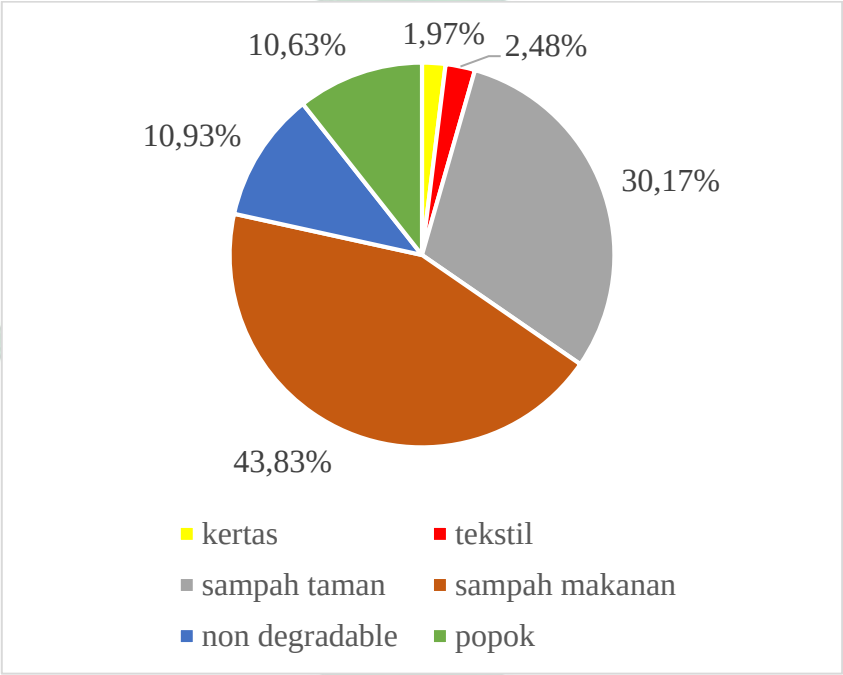
4.4. Komposisi Sampah yang Masuk TPA Lempeni

Pengumpulan data komposisi sampah dilakukan berdasarkan SNI 19-3964-1995 mengenai "Metode Pengambilan dan Pengukuran Contoh Timbulan Sampah Perkotaan". Sampling dilakukan selama 8 hari, dari tanggal 18 Juni 2020 sampai dengan 27 Juni 2020. Komposisi sampah dihitung berdasarkan berat basah (*wet weight*). Hasil pengumpulan data dari berat tiap komponen sampah disajikan dalam Lampiran V.

digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id

Sumber sampah Kabupaten Lumajang umumnya didominasi oleh sampah yang berasal dari kegiatan permukiman dengan mayoritas jenis sampah merupakan sampah basah atau sampah organik. Komposisi sampah yang masuk TPA Lempeni didominasi oleh sampah organik *biodegradable*, dengan komposisi sekitar 74%. Hal ini sesuai dengan komposisi sampah menurut Andriani & Atmaja (2019), dimana sampah organik *biodegradable* merupakan komponen paling dominan dalam sampah di Indonesia. Komposisi sampah di TPA Lempeni disajikan dalam Gambar 4.9.

Gambar 4. 9 Komposisi Sampah di TPA Lempeni



Komponen kertas

Dalam penelitian ini, sesuai kebutuhan permodelan GasSim, komponen kertas terbagi menjadi kertas koran, kertas majalah, *liquid carton*, *card packaging*, dan kertas lain-lain. Dari hasil sampling di lapangan, komposisi komponen kertas diperoleh dengan persentase sekitar 0,34% - 4,36%. Komposisi kertas rata-rata adalah 1,97%. Komposisi komponen kertas merupakan komposisi jenis kertas lain-lain. Hasil sampling di lapangan, tidak menemukan jenis kertas majalah, *liquid carton*, dan *card packaging*. Kedua jenis kertas tersebut masih memiliki nilai ekonomis yang relatif

digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id

tinggi, sehingga kemungkinan besar sudah terpilah di TPS atau masyarakat, sebelum terangkut ke TPA Lempeni.

Komponen tekstil

Sampah yang tergolong dalam katergori tekstil adalah pakaian/kain yang tidak terpakai/terbuang ke TPA. Dari hasil sampling di lapangan, komposisi komponen tekstil diperoleh dengan persentase sekitar 0,2% - 7,21%. Komposisi tekstil rata-rata adalah 2,48%.

Komponen sampah organik *biodegradable*

Komponen sampah organik *biodegradable* rata-rata adalah 74%. Komponen sampah organik *biodegradable* terdiri dari sampah taman (*garden waste*) dan sampah organik lainnya. *Garden waste* terdiri dari daun dan ranting tanaman, kebanyakan adalah jenis tanaman untuk taman dan rumput-rumputan. Komposisi *Garden waste* yang diperoleh adalah rata-rata 30,17%. Komposisi jenis sampah organik lainnya adalah rata-rata 43,83%, dengan didominasi oleh sampah makanan (*food waste*). Sampah makanan terdiri dari sisa-sisa makanan yang terbuang, dan buah-buahan serta sayur yang dibuang dari pasar tradisional.

Komponen sampah *non-degradable*

Komponen sampah *non-degradable* adalah rata-rata 10,93%. Sampah *non-degradable* terdiri dari semua jenis plastik, karet, dan logam.

Komponen sampah lain-lain

Komponen sampah lain-lain adalah kategori sampah yang tidak termasuk dalam kategori sampah yang disebutkan sebelumnya. Dalam kategori ini, sampah popok sekali pakai adalah jenis sampah yang dominan. Komposisi sampah popok adalah rata-rata 10,63%.

4.5. Kadar Air dari Sampah di TPA Lempeni

Pengambilan berat sampel sampah untuk uji kadar air sesuai dengan SNI 19-3964-1994. Pengambilan sampel sampah dilakukan pada tanggal 2 November 2020. Berat tiap komponen sampah yang dijadikan sampel sampah disajikan dalam Tabel 4.6 Penelitian dilakukan di Laboratorium Integrasi UIN Sunan Ampel Surabaya.

digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id

Tabel 4. 6 Berat komponen sampah yang dibutuhkan untuk sampel sampah

Komponen sampah	Persentase komposisi	Total berat sampel (kg)	Berat yang dibutuhkan (gram)
kertas	1,97%	2	39,3
tekstil	2,48%	2	49,6
sampah makanan	43,83%	2	876,6
sampah taman	30,17%	2	603,3
non degradable	10,93%	2	218,7
popok	10,63%	2	212,6
Total	100,00%	-	2000

Kadar air diperoleh dari penimbangan kehilangan air pada pemanasan 105°C, setelah berat sampah stabil. Uji kadar air pada sampah dibutuhkan waktu bisa lebih dari 24 jam (Damanhuri & Padmi, 2015). Pada penelitian ini, sampel sampah dipanaskan di dalam oven selama 48 jam. Hasil uji kadar air sampah TPA Lempeni disajikan dalam Tabel 4.7. Dari hasil uji kadar air, diketahui bahwa kadar air dari sampah di TPA Lempeni berkisar antara 64,1% - 82,6%.

Tabel 4. 7 Hasil uji kadar air sampah TPA Lempeni Lumajang

Berat cawan petri (gram)	Berat sampah - *wet weight* (gram)	Berat total (gram)	Berat total - setelah dari oven (gram)	*Water loss* (gram)	*Moisture content* (%)
49,6	101,6	151,2	71,4	79,8	78,5%
51,7	102,4	154,1	72,1	82	80,1%
51,3	102,8	154,1	71,7	82,4	80,2%
48,3	111,4	159,7	86,6	73,1	65,6%
43,4	101,9	145,3	61,1	84,2	82,6%
39,2	52,9	92,1	58,2	33,9	64,1%
44,6	54,2	98,8	54,4	44,4	81,9%
44	55,6	99,6	59,5	40,1	72,1%
51,8	54,6	106,4	62,1	44,3	81,1%
46	57,7	103,7	58,4	45,3	78,5%
rata-rata					76,5%

Sumber: Hasil analisis, 2020

digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id

4.6. Densitas Sampah di TPA Lempeni

Pengambilan sampel dilakukan secara langsung pada saat truk dalam kondisi *unloading*. Densitas dihitung dari berat sampah dalam *wet weight* dibagi dengan volume sampah setelah dihentakkan. Volume sampah diperoleh dari volume kotak densitas dengan tinggi sampah setelah kotak densitas dihentakkan.

Contoh perhitungan densitas adalah sebagai berikut:

Hasil sampling Tanggal 18 Juni 2020

- Lebar kotak densitas = panjang kotak densitas = 1 m
- Tinggi sampah setelah dihentakkan = 0,39 m
- Berat sampah (tanpa kotak densitas) =56,2 kg

$$Densitas = \frac{56{,}2\ kg}{1m \times 1m \times 0{,}39m} = 144{,}18 \frac{kg}{m^3}$$

Hasil sampling dan perhitungan densitas sampah disajikan dalam Tabel 4.8. Berdasarkan hasil sampling, rata-rata densitas sampah di TPA Lempeni adalah 181,42 kg/m^3. Pengambilan sampel densitas sampah dilakukan pada sampah yang teralh ditumpahkan dari truk pengangkut sampah, atau saat truk melakukan *unloading* muatan sampah. Densitas sampah yang ditumpahkan dari truk, dalam kondisi tidak terkompaksi. Sampah yang tidak terkompaksi, secara teoritis, memiliki densitas 10 kg/m^3 sampai 200 kg/m^3 (Damanhuri & Padmi, 2015). Hasil sampling densitas sampah di TPA Lempeni menunjukkan kesesuaian dengan densitas sampah secara teoritis, yaitu masih dalam range 10 kg/m^3 sampai 200 kg/m^3.

Tabel 4. 8 Hasil sampling dan perhitungan densitas sampah di TPA Lempeni

Tanggal Sampling	Lebar (m)	Panjang (m)	Tinggi (m)	Volume (m^3)	Berat Sampah (tanpa berat kotak densitas) (kg)	Densitas (kg/m^3)
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)=(2) x (3) x (4)	(6)	(7)=(6)/(5)
18 Juni 2020	1	1	0,39	0,39	56,20	144,18
19 Juni 2020	1	1	0,30	0,30	51,55	170,57
21 Juni 2020	1	1	0,31	0,31	58,40	186,04
22 Juni 2020	1	1	0,34	0,34	56,75	168,15
23 Juni 2020	1	1	0,35	0,35	65,70	188,58

digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id

Tanggal Sampling	Lebar (m)	Panjang (m)	Tinggi (m)	Volume (m^3)	Berat Sampah (tanpa berat kotak densitas) (kg)	Densitas (kg/m^3)
24 Juni 2020	1	1	0,33	0,33	62,08	190,10
25 Juni 2020	1	1	0,35	0,35	68,03	196,02
27 Juni 2020	1	1	0,24	0,24	50,28	207,71
					rata-rata	181,42

Sumber: Hasil analisis, 2020

4.7. Proyeksi Penduduk Kabupaten Lumajang

Proyeksi penduduk adalah perkiraan jumlah penduduk pada tahun-tahun yang akan datang. Proyeksi penduduk diperlukan untuk memperkirakan jumlah timbulan sampah yang dihasilkan oleh penduduk Kabupaten Lumajang. Proyeksi penduduk dilakukan dengan menggunakan metode proyeksi penduduk berdasarkan data penduduk Kabupaten Lumajang dari tahun-tahun sebelumnya. Data penduduk Kabupaten Lumajang dari tahun 2001 sampai tahun 2019, disajikan dalam Tabel 4.9.

Tabel 4. 9 Data Jumlah Penduduk Kabupaten Lumajang Tahun 2001 – 2019

Tahun	Jumlah Penduduk (jiwa)
2001	948671
2002	950207
2003	1007159
2004	1000260
2005	1017839
2006*	1017839
2007*	1017839
2008	1024849
2009*	1024849
2010	1006458
2011	1012121
2012	1014625
2013	1014625
2014	1026378
2015	1030187
2016	1033698

digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id

Tahun	Jumlah Penduduk (jiwa)
2017	1036812
2018	1039794
2019	1128777

Sumber: (BPS Kabupaten Lumajang, 2003, 2005, 2009, 2011, 2012, 2013, 2014, 2015, 2016, 2017, 2018, 2019, 2020)

*data jumlah penduduk tidak didapatkan

Metode proyeksi terdiri dari metode aritmatika, metode geometri, dan metode *least square*. Penentuan metode proyeksi dalam penelitian ini berdasarkan nilai koefisien korelasi (r) terbesar (nilai r yang paling mendekati nilai 1). Berdasarkan perhitungan koefisien korelasi (Lampiran VI), didapatkan nilai r untuk metode aritmatika, metode geometri, dan metode *least square*, berturu-turut, adalah 0,194; 0,767; dan 0,762. Berdasarkan hasil perhitungan, metode geometri memilki nilai r yang paling tinggi (paling mendekati nilai 1), maka proyeksi penduduk dilakukan dengan metode geomteri. Perhitungan proyeksi penduduk dihitung sampai tahun dimana masa pelayanan TPA diperkirakan akan habis. Perhitungan proyeksi penduduk menggunakan metode geometri adalah sebagai berikut:

A. Mencari rasio pertumbuhan penduduk per tahun (r)

Rasio pertumbuhan penduduk per tahun diperoleh dari rata-rata rasio pertumbuhan penduduk pada tahun 2001 sampai 2019. Rasio pertumbuhan penduduk adalah jumlah pertumbuhan penduduk pada suatu tahun dibagi dengan jumlah penduduk pada satu tahun sebelumnya. Rasio pertambahn penduduk dari tahun 2001 sampai 2019 disajikan dalam Tabel 4.10. Rasio pertumbuhan penduduk per tahun (r) adalah sebagai berikut:

$$r = \frac{0{,}1795}{2019 - 2001} = 0{,}00997$$

Tabel 4. 10 Tabel Jumlah Penduduk dan rasio pertambahan penduduk pada tahun 2001-2019

Tahun	Jumlah Penduduk	Pertumbuhan Penduduk	Rasio Pertumbuhan Penduduk
2001	948671	0	-
2002	950207	1536	0,0016

digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id

Tahun	Jumlah Penduduk	Pertumbuhan Penduduk	Rasio Pertumbuhan Penduduk
2003	1007159	56952	0,0599
2004	1000260	-6899	-0,0068
2005	1017839	17579	0,0176
2006	1017839	0	0
2007	1017839	0	0
2008	1024849	7010	0,0069
2009	1024849	0	0
2010	1006458	-18391	-0,0179
2011	1012121	5663	0,0056
2012	1014625	2504	0,0025
2013	1014625	0	0
2014	1026378	11753	0,0116
2015	1030187	3809	0,0037
2016	1033698	3511	0,0034
2017	1036812	3114	0,0030
2018	1039794	2982	0,0029
2019	1128777	88983	0,0856
Jumlah		180106	0,1795

Sumber: hasil analisis, 2020

B. Menentukan jumlah penduduk pada tahun awal berdasarkan proyeksi

Setelah nilai r didapatkan, proyeksi penduduk pada awal tahun proyeksi tahun 2001 (P_{2001}) dihitung sebagai berikut:

$$P_{2019} = P_{2001}(1+r)^n$$

$$P_{2001} = \frac{P_{2019}}{(1+r)^n}$$

$$P_{2001} = \frac{1128777}{(1+0{,}00997)^{(2019-2001)}}$$

$$P_{2001} = 944152$$

Selanjutnya, untuk tahun-tahun berikutnya, proyeksi penduduk dengan metode geometri. Proyeksi penduduk dihitung sampai dengan masa layanan TPA Lempeni berakhir. Masa layanan TPA Lempeni diperkirakan berakhir pada tahun 2024 (DLH

digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id

Kabupaten Lumajang, 2019b). Hasil perhitungan proyeksi penduduk menggunakan metode geometri disajikan dalam Tabel 4.11.

Tabel 4. 11 Proyeksi Penduduk Kabupaten Lumajang berdasarkan metode geometri

Tahun	Jumlah Penduduk
2016	1095672
2017	1106598
2018	1117632
2019	1128777
2020	1140033
2021	1151401
2022	1162883
2023	1174479
2024	1186190

Sumber: hasil analisis, 2020

4.8. Timbulan Sampah Penduduk Kabupaten Lumajang yang Masuk TPA Lempeni

Jumlah timbulan sampah yang masuk TPA Lempeni ditentukan dari persentase pelayanan sampah di Kabupaten Lumajang. Berdasarkan *Master Plan* Persampahan Kabupaten Lumajang, persentase pelayanan sampah 2017-2019 sebesar 31,5% (Bappeda Lumajang, 2020). Karena kondisi jembatan timbang yang tidak berfungsi, metode perhitungan timbulan sampah secara *weight volume analysis* tidak dapat dilakukan. Maka dari itu, 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 4.12.

Tabel 4. 12 Data sampah yang masuk TPA Lempni tahun 2017-2019

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

Sumber: (DLH Kabupaten Lumajang, 2019a)

digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id

Timbulan sampah penduduk Kabupaten Lumajang pada tahun 2017-2019, dihitung berdasarkan persamaan sebagai berikut

$$M_t = Fp \times T \times P_t \times 365\ hari$$

Dimana:

M_t = Berat sampah yang masuk ke TPA pada tahun t (kg atau m^3)

T = Timbulan sampah rata-rata (kg/(orang.hari) atau m^3/(orang.hari))

P_t = Proyeksi Jumlah Penduduk pada tahun t (orang)

Fp = Faktor pelayanan (%)

Timbulan sampah penduduk Kabupaten Lumajang tahun 2017:

$$M_t = Fp \times T \times P_t \times 365\ hari$$

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

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

$$T = 0{,}28 \frac{kg}{orang.hari}$$

Timbulan sampah penduduk Kabupaten Lumajang tahun 2018:

$$M_t = Fp \times T \times P_t \times 365\ hari$$

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

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

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

Timbulan sampah penduduk Kabupaten Lumajang tahun 2019:

$$M_t = Fp \times T \times P_t \times 365\ hari$$

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

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

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

digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id

Untuk menghitung timbulan sampah dalam satuan volume, timbulan sampah dalam satuan berat harus dibagi dengan densitas sampah. Densitas sampah hasil perhitungan adalah 181,42 kg/m^3. Hasil perhitungan timbulan sampah penduduk Kabupaten Lumajang pada tahun 2017-2019 disajikan dalam Tabel 4.13.

Tabel 4. 13 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)
(1)	(2)	(3)	(4) = (2) x 1000/(3)
2017	0,28	181,42	1,59
2018	0,40	181,42	2,26
2019	0,43	181,42	2,38
Rata-rata	0,37	181,42	2,08

Sumber: hasil analisis, 2020

Rata-rata timbulan sampah yang dihasilkan oleh penduduk Kabupaten Lumajang adalah 0,37 kg/(orang.hari) atau 2,08 liter/(orang.hari). Berdasarkan jumlah penduduk, menurut SNI 19-3983-1995, Kabupaten Lumajang tergolong dalam kota besar. Timbulan sampah dari kota besar berada dalam kisaran 3 – 4,5 liter/(orang.hari) atau 0,4 – 0,6 kg/(orang.hari). Timbulan sampah penduduk Kabupaten Lumajang berada dibawah kisaran timbulan sampah berdasarkan SNI 19-3983-1995. Menurut Damanhuri & Padmi (2015), timbulan sampah akan bervariasi dari hari ke hari, antara satu daerah dengan daerah lainnya.

Salah satu factor yang mempengaruhi timbulan sampah adalah tingkat hidup (perekonomian) masyarakat (Damanhuri & Padmi, 2015). Produk Domestik Regional Bruto (PDRB) kota Lumajang pada tahun 2016 adalah 25,77 juta/kapita (Bappeda Kabupaten Lumajang, 2017). Nilai PDRB ini lebih kecil dibandingkan dengan rata-rata PDRB Jawa Timur yaitu 47,47 juta/kapita. PDRB Lumajang yang kecil menunjukkan bahwa Kabupatan Lumajang memiliki tingkat perekonomian yang relative lebih rendah dari kota-kota lainnya di Jawa Timur, sehingga juga berpengaruh

digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id

terhadap timbulan sampah yang dihasilkan. Makin tinggi tingkat hidup masyarakat, maka makin besar pula timbulan sampahnya (Damanhuri & Padmi, 2015)

Setelah timbulan sampah penduduk diketahui, jumlah sampah yang masuk TPA Lempeni dapat diperkirakan sampai tahun 2024. Perhitungan jumlah sampah yang masuk TPA Lempeni dihitung sampai dengan tahun masa layanan TPA berakhir, yaitu pada tahun 2024. Jumlah sampah yang masuk TPA Lempeni disajikan dalam Tabel 4.14.

Tabel 4. 14 Perkiraan jumlah sampah yang masuk TPA Lempeni tahun 2016-2024

Tahun	Jumlah penduduk	timbulan sampah (kg/orang.hari)	persentase pelayanan	Jumlah hari dalam setahun	Jumlah sampah yang masuk TPA dalam setahun (ton)
2016	1033698	-	-	-	33951,69
2017	1036812	0,28	31,5%	365	33951,69
2018	1039794	0,40	31,5%	365	48381,88
2019	1128777	0,43	31,5%	365	55315,40
2020	1140033	0,37	38%	366	58735,79
2021	1151401	0,37	44%	365	68785,90
2022	1162883	0,37	51%	365	79501,19
2023	1174479	0,37	57%	365	90423,80
2024	1186190	0,37	63%	366	101834,09

Sumber: hasil analisis, 2020

4.9. Perhitungan Nilai Infiltrasi Air Hujan di TPA Lempeni

Infiltrasi adalah hasil dari curah hujan dikurangi aliran run off dan evapotranspirasi (Hall, 2007). Perhitungan nilai infiltrasi tahunan dilakukan dengan menggunakan perhitungan neraca air dengan metode Thorntwaite-Matter. Evapotranspirasi dihitung dengan metode neraca air Thorntwaite-Matter (Jauhari, 2016). Adapun langkah-langkah perhitungannya dapat diuraikan sebagai berikut:

Data rata-rata curah hujan dan temperatur diperoleh dari data stasiun pengamatan terdekat dengan lokasi TPA Lempeni. Stasiun pengamatan curah hujan yang terdekat dengan lokasi TPA Lempeni adalah Stasiun Sememu. Data temperature TPA Lempeni diperoleh dari data temperature untuk stasiusn pengamatan Data curah

digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id

hujan untuk stasiun Sememu dan data temperature untuk stasiun Tempeh Kidul, Kabupaten Lumajang disajikan dalam Tabel 4.15 dan Tabel 4.16.

Tabel 4. 15 Curah Hujan Bulanan Stasiun Sememu

Tahun	Bulan (dalam mm)											
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)
2010	319	231	338	247	333	45	61	44	328	272	197	139
2011	325	404	107	194	313	0	0	0	0	20	336	175
2012*	377	86	157	84	53	0	46	0	18	97	75	345
2013*	331	199	246	240	48	124	35	22	0	63	421	427
2014*	294	193	97	65	21	0	94	0	0	0	200	261
Rata-rata	329,2	222,6	189,0	166,0	153,6	33,8	47,2	13,2	69,2	90,4	245,8	269,4

Sumber: BPS Kabupaten Lumajang, 2010-2014

*Sumber: Kecamatan Tempeh Dalam Angka, 2016-2018

Tabel 4. 16 Temperatur Bulanan Stasiun Tempeh Kidul 2017-2019

Tahun		Bulan Ke – (dalam Celcius)											
		(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)
2017 - 2019	maks	33,68	34,46	34,74	35,3	34,35	34,27	33,94	31,77	34,07	35	36	36
	min	18,68	18,07	20,97	17,53	18,23	16,8	15,71	15,23	15,6	16,68	16,43	26,98
	rerata	26,18	26,27	27,86	26,42	26,29	25,53	24,82	23,5	24,83	27,76	26,22	26,98

Sumber: Kecamatan Tempeh Dalam Angka, 2017-2019

A. Menghitung indeks panas (i) untuk tiap bulannya

Contoh perhitungan untuk bulan Januari. Diketahui temperatur rata-rata bulan Januari sebesar 26,18°C. sehingga indeks panasnya adalah:

$$i = \left(\frac{T}{5}\right)^{1,514} = \left(\frac{26,18}{5}\right)^{1,514} = 12,26$$

Untuk selanjutnya dilakukan perhitungan tiap-tiap bulan, disajikan dalam Tabel 4.17. Total indeks panas dalam satu tahun adalah 146,2.

Tabel 4. 17 Hasil Perhitungan Indeks Panas dalam Satu Tahun

digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id

Bulan ke-	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	10	11	12
Suhu Udara	26,18	26,27	27,855	26,42	26,29	25,53	24,82	23,5	24,83	27,76	26,22	26,98
Indeks Panas	12,26	12,33	13,47	12,43	12,34	11,80	11,31	10,41	11,32	13,40	12,29	12,83

Sumber: hasil analisis, 2020

B. Menghitung nilai Potensi Evapotranspirasi (PET)

Contoh perhitungan untuk bulan Januari. Berdasarkan perhitungan sebelumnya didapat total nilai indeks panas dalam satu tahun adalah sebesar 146,2. Untuk nilai koefisien "c" digunakan 16,2 dalam satuan mm. Untuk nilai koefisien "a" dan nilai Potensi Evapotranspirasi dilakukan perhitungan sebagai berikut ini.

$a = (0{,}000000675 \times 146{,}2^3) - (0{,}0000771 \times 146{,}2^2) + (0{,}01792 \times 146{,}2) + 0{,}49239 = 3{,}48$

$$\text{PET} = 16{,}2 \times \left(\frac{10x26{,}18}{146{,}2}\right)^{3{,}48} = 123{,}15 \text{ mm}$$

Berdasarkan hasil perhitungan diatas nilai PET untuk bulan Januari adalah sebesar 123,15 mm.

C. Melakukan kalibrasi menggunakan faktor lama penyinaran

Kalibrasi penyinaran matahari merupakan nilai koreksi terhadap posisi Lintang lokasi pada masing-masing bulan. Nilai Koreksi factor penyinaran matahari disajikan dalam Tabel 4.18.

Tabel 4. 18 Koefisien Penyesuaian menurut Garis Lintang dan Bulan

Posisi Geografis	Bulan											
	Jan	Feb	Mar	Apr	Mei	Jun	Jul	Agu	Sep	Okt	Nov	Des
Lintang Utara												
0°	1,04	0,94	1,04	1,01	1,04	1,01	1,04	1,04	1,01	1,04	1,01	1,04
5°	1,02	0,93	1,03	1,02	1,06	1,03	1,06	1,05	1,01	1,03	0,99	1,02
10°	1,00	0,91	1,03	1,03	1,08	1,06	1,08	1,07	1,02	1,02	0,98	0,99
15°	0,97	0,91	1,03	1,04	1,11	1,08	1,12	1,08	1,02	1,01	0,95	0,97
Lintang Selatan												

digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id

Posisi Geografis	Bulan											
	Jan	Feb	Mar	Apr	Mei	Jun	Jul	Agu	Sep	Okt	Nov	Des
5º	1,06	0,95	1,04	1,00	1,02	0,96	1,02	1,03	1,00	1,05	1,03	1,06
10º	1,08	0,97	1,05	0,99	1,01	0,96	1,00	1,01	1,00	1,06	1,05	1,10
15º	1,12	0,98	1,05	0,98	0,98	0,94	0,97	1,00	1,00	1,07	1,07	1,12

Sumber: Sembiring & Septiandro, 2018

Lokasi geografis TPA Lempeni terletak di Desa Lempeni, Kecamatan Tempeh, Kabupaten Lumajang berada pada 8°14'3" LS. Faktor penyinaran untuk bulan Januari adalah sebesar 1,07. Untuk kemudian ditentukan faktor penyinaran untuk bulan-bulan selanjutnya dalam Tabel 4.19.

Tabel 4. 19 Koefisien Penyesuaian dari TPA Diwek untuk tiap bulan

Bulan	Jan	Feb	Mar	Apr	Mei	Jun	Jul	Agu	Sep	Okt	Nov	Des
Faktor	1,07	0,96	1,05	0,99	1,01	0,96	1,01	1,02	1,00	1,06	1,04	1,08

Sumber: hasil analisis, 2020

D. Menghitung nilai PET yang sudah dikalibrasi (Adjusted PET)

Nilai Adjusted PET merupakan perkalian antara nilai PET dengan faktor kalibrasi penyinaran matahari. Perhitungan nilai Adjusted PET untuk bulan Januari sebagai berikut:

Adjusted PET = 1,07 x 123,15 mm = 131,77 mm

Berdasarkan hasil perhitungan diatas didapat nilai Adjusted PET atau nilai PET yang sudah disesuaikan dengan posisi geografis pada bulan Januari adalah sebesar 131,77 mm.

E. Menentukan nilai *run off*

Nilai koefisien *run-off* menggunakan nilai empiris pada Tabel 4.20 untuk permukaan tanah sesuai dengan kondisi lapangan.

digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id

Tabel 4. 20 Nilai Empiris Koefisien Run-Off

No	Jenis Permukaan	Koefisien *Run-Off*
A.	*Pedestrian*	
1.	*Bituminous Streets*	0,70 – 0,95
2.	*Concrete Streets*	0,80 – 0,95
3.	*Driveways Walks*	0,75 – 0,85
B.	*Lawns; Sandy Soil*	
1.	*Flat, 2%*	0,05 - 0,10
2.	*Average; 2-7%*	0,10 – 0,15
3.	*Steep; 7%*	0,15 – 0,20
C	*Lawns; Heavy Soil*	
1.	*Flat; 2%*	0,13 – 0,17
2.	*Average; 2-7%*	0,18 – 0,22
3.	*Steep; 7%*	0,25 – 0,35

Sumber: (Drainage Service Department, 2018)

Nilai koefisien *run off* digunakan 0,15 dengan kondisi tanah padat dengan kemiringan datar 2%. Nilai *Run-Off* (Ro) bulanan disajikan dalam Tabel 4.21.

Tabel 4. 21 Nilai Run-Off *(Ro) untuk tiap bulan*

Bulan	Curah Hujan (P)	C Run Off	Run Off (RO)
	(1)	(2)	(3) = (2) x (1)
Januari	329,2	0,15	49,38
Februari	222,6	0,15	33,39
Maret	189	0,15	28,35
April	166	0,15	24,9
Mei	153,6	0,15	23,04
Juni	33,8	0,15	5,07
Juli	47,2	0,15	7,08
Agustus	13,2	0,15	1,98
September	69,2	0,15	10,38
Oktober	90,4	0,15	13,56
November	245,8	0,15	36,87

digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id

Bulan	Curah Hujan (P)	C Run Off	Run Off (RO)
	(1)	(2)	(3) = (2) x (1)
Desember	269,4	0,15	40,41

Sumber: hasil analisis, 2020

F. Menentukan nilai Infiltrasi (I).

Nilai infiltrasi merupakan banyaknya air yang masuk kedalam permukaan tanah. Infiltrasi adalah hasil dari curah hujan dikurangi aliran run off dan evapotranspirasi (Hall, 2007). Perhitungan nilai infiltrasi pada bulan Januari adalah sebagai berikut ini:

I = P – RO – PET

I = 329,2 mm – 49,38 mm - 131,77 mm

I = 148,05 mm

Berdasarkan hasil perhitungan diatas didapat nilai infiltrasi pada bulan Januari adalah sebesar 148,05 mm. Nilai Infiltrasi dalam satu tahun disajikan dalam Tabel 4.22.

Tabel 4. 22. Hasil Perhitungan Nilai Infiltrasi dalam satu tahun di TPA Lempeni

Bulan	P (mm)	RO (mm)	Adj PET (mm)	Infiltrasi (mm)
Januari	329,2	49,4	131,8	148,1
Februari	222,6	33,4	119,6	69,6
Maret	189,0	28,4	160,5	0,2
April	166,0	24,9	125,9	15,2
Mei	153,6	23,0	126,2	4,4
Juni	33,8	5,1	108,3	-79,6
Juli	47,2	7,1	103,3	-63,2
Agustus	13,2	2,0	86,2	-75,0
September	69,2	10,4	102,4	-43,6
Oktober	90,4	13,6	160,1	-83,2
November	245,8	36,9	128,8	80,2
Desember	269,4	40,4	147,7	81,3
Jumlah				54,2

Sumber: hasil analisis, 2020

digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id

Nilai infiltrasi yang dibutuhkan dalam pemodelan adalah data infiltrasi dalam satu tahun. Jadi, nilai infiltrasi yang digunakan dalam penelitian ini untuk nilai input dalam permodelan adalah 54,2 mm.

4.10. Pembentukan Gas *Landfill* TPA Lempeni berdasarkan Model LandGEM dan Model GasSim

4.10.1. Input Data Model LandGEM

LANDGEM yang digunakan dalam penelitian ini adalah LANDGEM versi 3.02. Beberapa parameter input data untuk LandGEM menggunakan data *bulk waste*, sehingga model ini tidak memerlukan data sampah organic yang lebih terinci. Pada penelitian ini, laju timbulan metan (k) diasumsikan 0,05 per tahun, sedangkan kapasitas potensial timbulan metananya adalah 170 m^3/Mg (Sri Wahyono, 2015). *Methane content* diasumsikan memiliki konsentrasi 50% dari total gas *landfill* (Kreith & Tchobanoglous, 2002). Sebagai input data *bulk* waste, data sampah yang masuk TPA Lempeni disajikan dalam Tabel 4.23.

Tabel 4. 23 Data input bulk waste untuk model LandGEM

Tahun	Jumlah sampah yang masuk TPA dalam setahun (ton)	Faktor konversi ton ke *short ton*	Jumlah sampah yang masuk TPA dalam setahun (*short ton*)
2016	33952	1,10231	37425
2017	33952	1,10231	37425
2018	48382	1,10231	53332
2019	55315	1,10231	60975
2020	58736	1,10231	64745
2021	68786	1,10231	75823
2022	79501	1,10231	87635
2023	90424	1,10231	99675
2024	101834	1,10231	112253

Sumber: Hasil analisis, 2020

digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id

4.10.2. Input Data Model GasSim

Model GasSim yang digunakan dalam penelitian ini adalah GasSim *Lite* versi 1.54. Dalam penelitian, karena hanya meninjau komposisi gas *landfill* pada penimbunan sampah di TPA Lempeni, maka hanya diperlukan 3 kelompok data untuk memodelkan gas *landfill*, antara lain *Infiltration*, *Source*, dan *Landfill Characteristics*.

A. *Infiltration*

Infiltration adalah air hujan yang meresap ke dalam timbunan sampah di TPA. Input data *Infiltration* adalah banyaknya air yang meresap ke dalam *landfill* dalam satu tahun dengan satuan mm/tahun. Dari hasil pengolahan data curah hujan Kabupaten Lumajang, nilai infiltrasi dalam penelitian ini diketahui sebesar 54,2 mm.

B. *Landfill Characteristics*

Landfill Characteristics Inputs adalah input data berupa informasi mengenai desain *landfill*. *Landfill Characteristics* Inputs terbagi menjadi 2 bagian, yaitu *Landfill Geometry* dan *Engineered Controls.*

- *Landfill Geometry* adalah input data berupa informasi tentang ukuran area *landfill.* TPA Lempeni memiliki 2 zona *landfill* dimana zona 1 dengan luas 1,95 ha sedangkan zona 2 dengan luas 2 ha. Total lahan untuk penimbunan sampah di TPA Lempeni adalah 3,95 ha.
- *Engineered Controls* adalah input data berupa informasi konstruksi *liner* dan *cap landfill*. *Liner* TPA Lempeni memiliki ketebalan 30 cm yang tersusun dari lapisan gravel dan dua lapisan geomembrane dengan ketebalan 4 mm. Untuk *Cap*, dalam penelitian ini diasumsikan tersusun dari lapisan geomembrane yang sama, yaitu setebal 4 mm. Konduktivitas hidrolik untuk material jenis geomembrane adalah berkisar 1×10^{-12} - 1×10^{-14} m/s. Dalam penelitian ini, hidrolik konduktivitas dari lapisan geomembrane diasumsikan sebesar 5×10^{-13} m/s. Selain itu, *Biological Methane Oxidation*, juga perlu dimasukkan dalam data input *Engineered Controls*, dengan rekomendasi nilai 10%.

digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id

C. Source

Source adalah input data tentang informasi sampah yang masuk dan ditimbun di TPA. Informasi sampah yang dibutuhkan adalah komposisi sampah, persentase gas karbon dioksida dan gas metan, laju penguraian selulosa, dan *waste moisture content*.

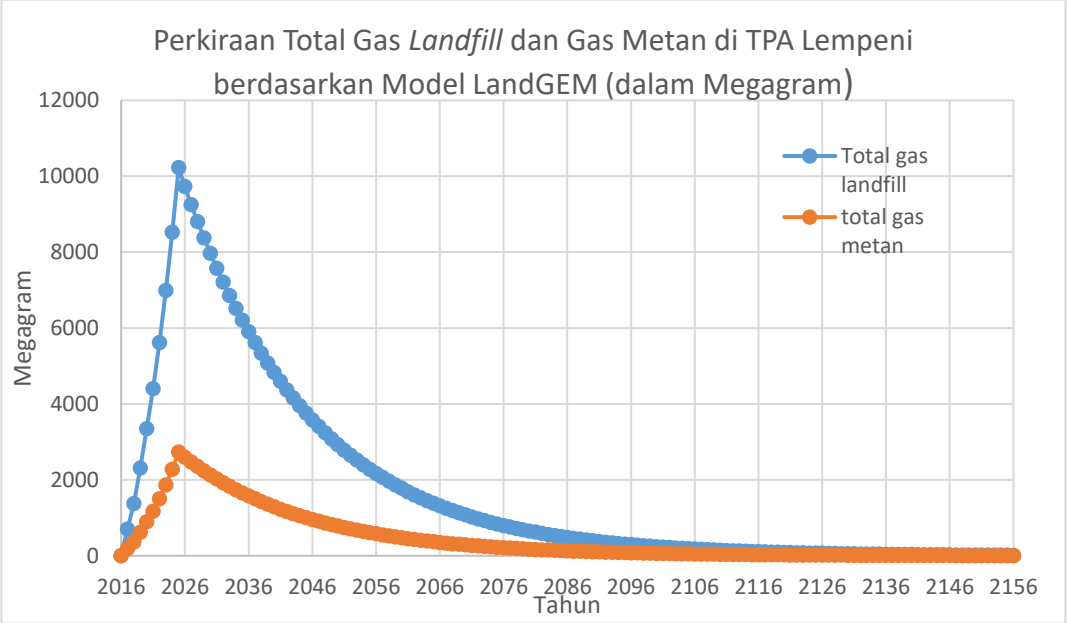
- Komposisi sampah (*Waste composition*): Data yang diperlukan adalah jumlah sampah yang masuk setiap tahun (ton) sesuai dengan Tabel 4.23, sumber sampah diasumsikan 100% berasal dari aktivitas domestik, dan komposisi sampah sesuai Gambar 4.5.
- Persentase gas Karbon dioksida dan gas Metan: Data yang diperlukan adalah asumsi persentase kandungan gas Karbon dioksida dan gas Metan. Dalam penelitian ini, persentase gas karbon dioksida adalah 50% dan konsentrasi gas metan adalah 50%.
- *Waste Moisture Content*: Data yang diperlukan adalah densitas sampah, efektivitas porositas, *leachate head*, konduktivitas hidraulik, kapasitas adsorptive, dan resirkulasi lindi. Dari hasil pengujian di laboratorium, kadar air yang terkandung dalam sampah TPA Lempeni adalah 76,5%. Kadar air dari sampah TPA Lempeni tergolong dalam kategori "Wet". Untuk parameter lainnya, dalam penelitian ini menggunakan nilai default GasSim.

4.10.3. Hasil Permodelan Gas *Landfill*

Hasil model gas landfill berdasarkan model LandGEM, ditunjukkan dalam Gambar 4.10 dan Gambar 4.11. Pembentukan gas *landfill* pada tahun 2016 sampai tahun 2025 mengalami peningkatan secara eksponensial. Puncak produksi gas landfill terjadi pada tahun 2025, dengan perkiraan gas *landfll* yang terbentuk sekitar 10.228 Mg (setara 10.228 ton) atau 8.190.102 m^3. Produksi gas metan juga mengalami peningkatan dari tahun 2016 dengan puncak produksi gas metan terjadi pada tahun 2025 dengan perkiraan sebesar 2.732 Mg (setara 2.732 ton) atau 4.095.051 m^3. Setelah tahun 2025, pembentukan gas *landfill* mulai menurun. Berdasarkan model LandGEM, gas landfill dari TPA Lempeni diperkirakan mencapai 242,72 Gg (setara 242.720 ton) atau 194.356.895 m^3 sampai tahun 2156.

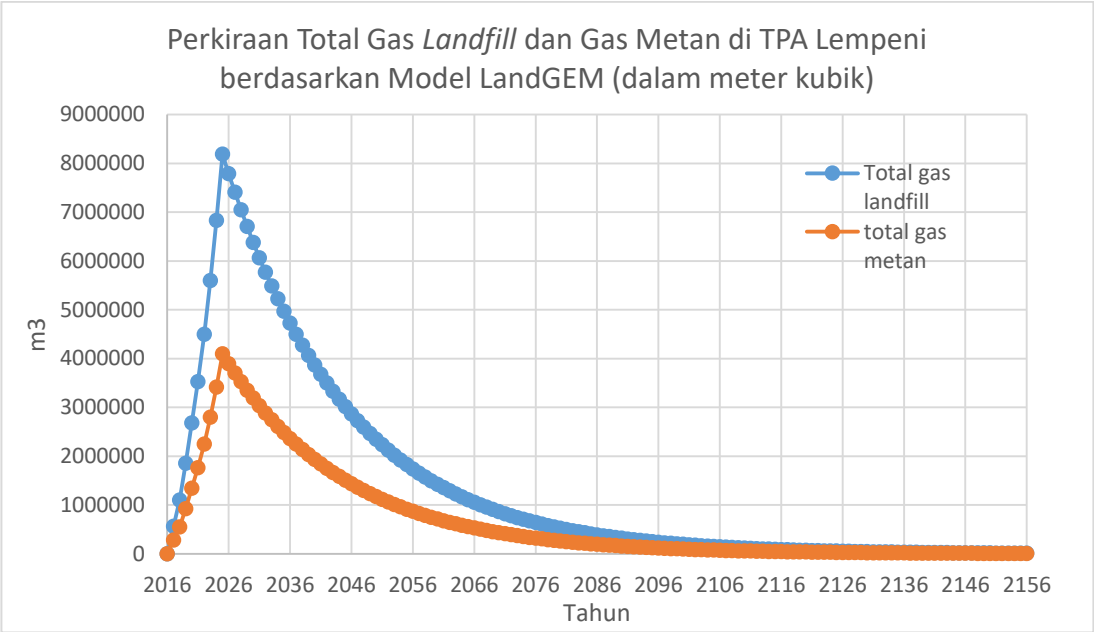
digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id

Meskipun model landGEM memberikan hasil yang kasar, namun model ini mampu memberikan informasi timbulan gas dan polutan berbahaya lainnya, selain gas metan (Sri Wahyono, 2015). Golongan gas selain gas metan dan gas karbon dioksida, digolongkan dalam *Non-Methane Organic Compound* (NMOC). Hasil model NMOC disajikan dalam Gambar 4.12 dan Gambar 4.13. Golongan gas NMOC hanya memiliki konsentrasi sekitar 1% dari total gas *landfill* yang terbentuk (Ehrig dkk., 2011). Produksi gas NMOC mengalami peningkatan dari tahun 2016 dengan puncak produksi pada tahun 2025 dengan perkiraan sebesar 117,4 Mg (setara 117,4 ton) atau 32760,4 m^3.

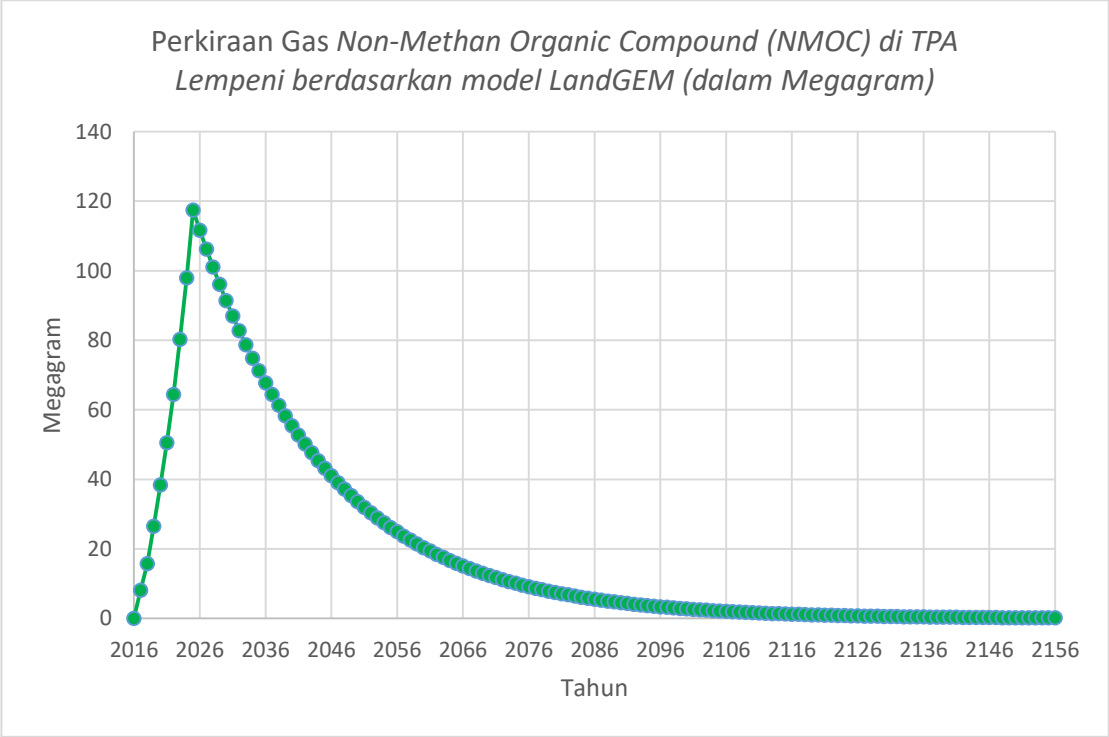


Gambar 4. 10 Perkiraan total gas landfill dan gas metan TPA Lempeni berdasarkan model LandGEM (dalam Megagram)

digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id

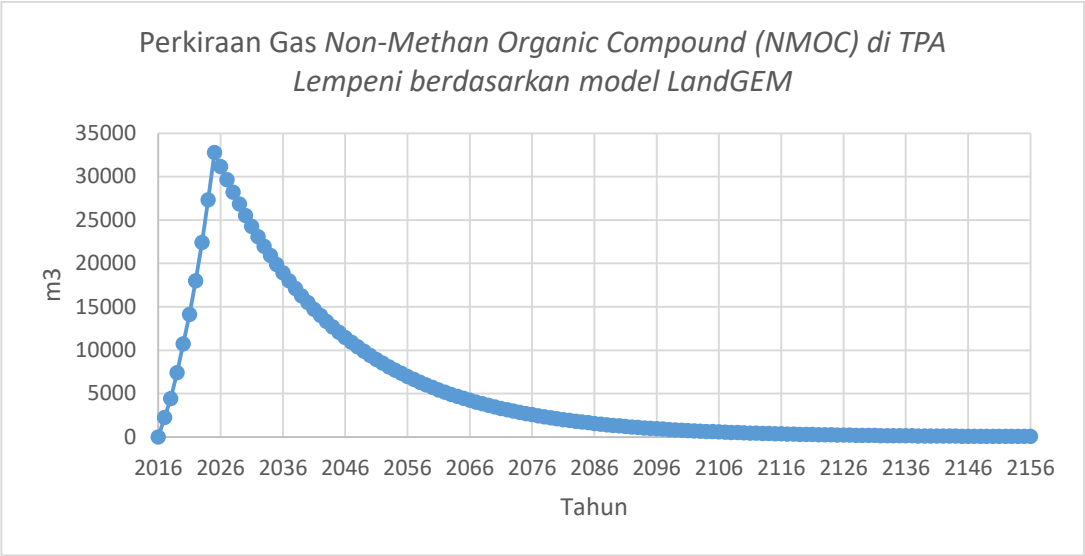


Gambar 4. 11 Perkiraan total gas landfill dan gas metan TPA Lempeni berdasarkan model LandGEM (dalam meter kubik)



Gambar 4. 12 Perkiraan Gas Non-Methan Organic Compound (NMOC) di TPA Lempeni berdasarkan model LandGEM (dalam Megagram)

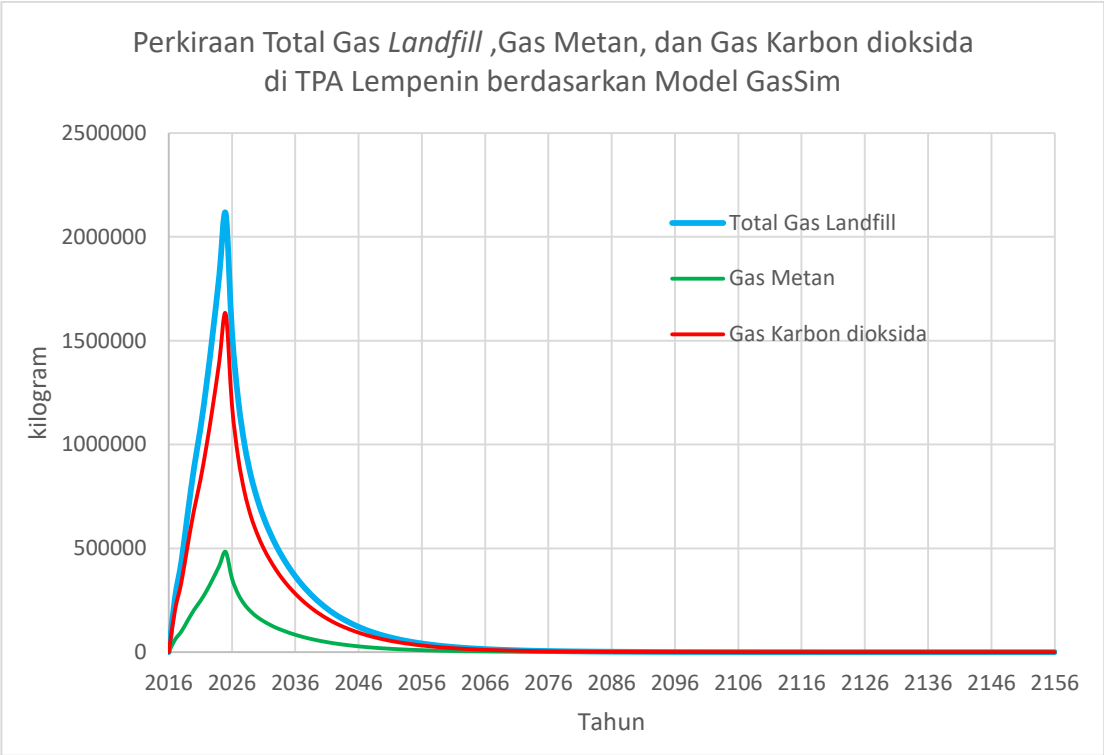
digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id



Gambar 4. 13 Perkiraan Gas Non-Methan Organic Compound (NMOC) di TPA Lempeni berdasarkan model LandGEM (dalam Megagram)

Hasil model gas landfill berdasarkan model GasSim, ditunjukkan dalam Gambar 4.14. Pembentukan gas *landfill* pada tahun 2016 sampai tahun 2025 mengalami peningkatan secara eksponensial. Puncak pembentukan gas landfill terjadi pada tahun 2025, dengan perkiraan gas *landfll* yang terbentuk sekitar 2.113 Mg (setara 2.113 ton). Produksi gas metan juga mengalami peningkatan dari tahun 2016 dengan puncak produksi gas metan terjadi pada tahun 2025 dengan perkiraan sebesar 483 Mg (setara 483 ton). Berbeda dengan model LandGEM, hasil model GasSim tidak menunjukkan hasil yang sama antara gas metan dan gas Karbon dioksida yang dihasilkan. Produksi gas Karbon dioksida juga mengalami peningkatan dari tahun 2016 dengan puncak pembentukan gas karbon dioksida terjadi pada tahun 2025 dengan perkiraan sebesar 1.630 Mg (setara 1.630 ton). Setelah tahun 2025, pembentukan gas *landfill* mulai menurun. Pada tahun 2156, produksi gas metan berdasarkan model GasSim diperkirakan hanya sebesar 5,7 kg.

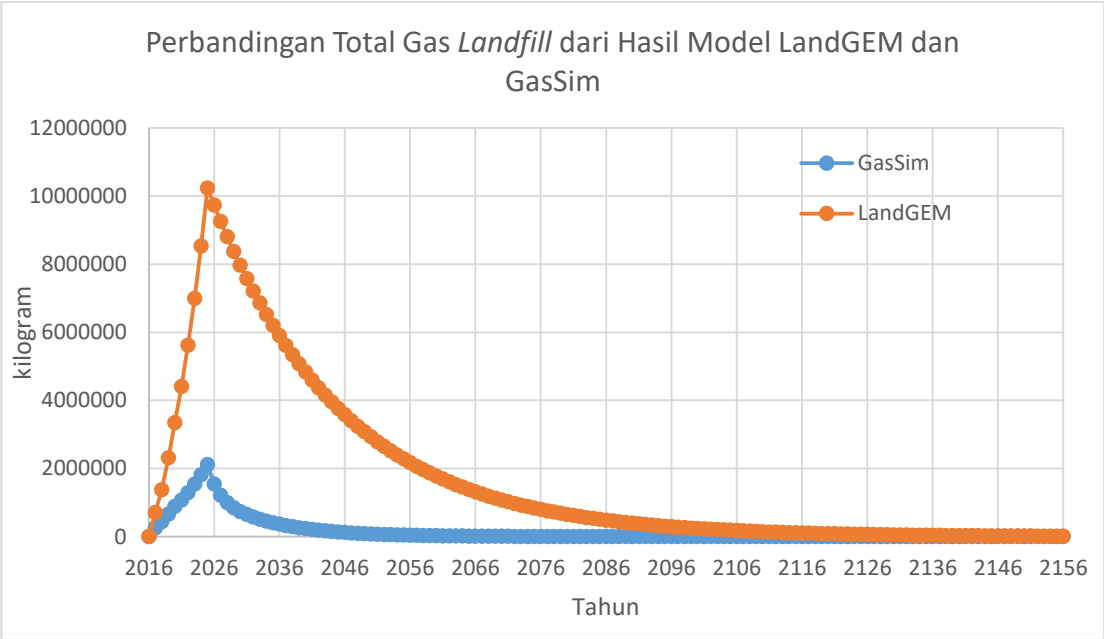
digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id



Gambar 4. 14 Perkiraan total gas landfill, gas metan, dan gas karbon dioksida di TPA Lempeni berdasarkan model GasSim

Hasil model LandGEM dan model GasSim menunjukkan perbedaan hasil yang signifikan (lihat Gambar 4.15). Kedua model memperkirakan puncak pembentukan gas *landfill* pada tahun yang sama, yaitu pada tahun 2025. Perkiraan gas *landfill* pada tahun 2025 berdasarkan model LandGEM adalah sekitar 10.228 Mg, atau setara dengan 4,8 kali lebih besar daripada perkiraan gas *landfill* berdasarkan model GasSim pada tahun yang sama. Pada akhir periode simulasi, model LandGEM memprediksi pembentukan gas *landfill* sekitar 14,63 Mg pada tahun 2156. Nilai tersebut relatif jauh lebih besar dibandingkan dengan hasil perkiraan gas *landfill* dari model GasSim pada tahun 2156 dimana hanya sekitar 5,7 kg.

digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id



Gambar 4. 15 Perbandingan Todal Gas Landfill dari hasil pemodelan LandGEm dan GasSim

Model LandGEM memberikan hasil yang kasar karena input untuk modelnya hanya bergantung pada jumlah sampah (*bulk waste)* yang masuk TPA. Parameter yang mempengaruhi hasil pemodelan LandGEM antara lain kapasitas potensial pembentukan metan (L_0) dan nilai laju pembentukan metan (*k*) (Majdinasab dkk., 2017). Dalam penelitian ini, nilai L_0 dan nilai *k*, tidak didapatkan berdasarkan hasil uji di lapangan, melainkan berdasarkan dari penelitian perkiraan gas *landfill* di TPA Probolinggo yang dilakukan oleh Sri Wahyono (2015). Beberapa faktor-faktor yang mempengaruhi pembentukan gas *landfill* antara lain kadar air sampah, temperature, dan komposisi sampah (Deed dkk., 2004). Karena model LandGEM hanya membutuhkan input *bulk waste*, hasil perkiraan gas *landfill* menjadi sulit untuk dianalisis bagaimana faktor-faktor tersebut bisa mempengaruhi pembentukan gas *landfill* di TPA Lempeni.

Hasil pemodelan LandGEM gas *landfill* TPA Lempeni jauh lebih besar dibandingkan dengan hasil pemodelan serupa di TPA Probolinggo. Puncak produksi gas metan di TPA Probolinggo diperkirakan terjadi pada tahun 2015 sebesar 1,34 ton

digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id

atau 2001 m^3. Sedangkan puncak produksi gas metan di TPA Lempeni diperkirakan terjadi pada tahun 2025 dengan perkiraan sebesar 2.732 Mg atau 4.095.051 m^3. Di TPA Probolinggo, dari tahun 2008-2014, sampah yang masuk kisaran 30 sampai 60 ton dalam setahun (Sri Wahyono, 2015). Jumlah sampah yang masuk TPA probolinggo ini sangat jauh lebih kecil dibandingkan dengan sampah yang masuk TPA Lempeni yang diperkirakan berkisar 30.000 sampai 10.000 ton dalam satu tahun.

4.11. Perhitungan Potensi Dampak Lingkungan dari Pembentukan Gas *Landfill* di TPA Lempeni

Perkiraan potensi dampak lingkungan dilakukan dengan mengalikan massa dari komponen-komponen penyusun gas landfill dengan factor dampak dari masing-masing jenis gas. Inventarisasi jenis dan jumlah gas landfill berdasarkan hasil analisis menggunakan pemodelan LANDGEM dan GasSim. Perhitungan potensi dampak lingkungan dari gas *landfill* TPA Lempeni meliputi potensi *global warming*, penipisan ozon (*ozone depletion), photochemical pollution (photochemical ozone creation)*, asidifikasi (*acidification*), dan toksisitas terhadap manusia (*human toxicity).*

4.11.1. Potensi pemanasan global (*global warming potential)*

Analisis potensi *Global Warming* dilakukan dengan mengalikan massa dari komponen-komponen penyusun gas landfill dengan factor *Global Warming Potential* (GWP) dari masing-masing jenis gas. Inventarisasi jenis dan jumlah gas *landfill* berdasarkan hasil analisis menggunakan pemodelan LandGEM dan GasSim. Jenis-jenis gas *landfill* yang berkontribusi terhadap *Global Warming* disajikan dalam Tabel 4.24. Perkiraan GWP pada suatu tahun adalah merupakan total GWP yang dihasilkan dari semua komponen gas *landfill* yang berkontribusi terhadap pemanasan global. Contoh perhitungan GWP pada tahun 2017 berdasarkan model LandGEM disajikan dalam Tabel 4.25.

digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id

Tabel 4. 24 Global Warming Potential (GWP) dari komponen gas landfill yang berkontribusi terhadap pemanasan global

No	Substansi	Rumus Senyawa	Faktor GWP 100 (kg CO2/kg)
1	1,1,1 -trichloroethane	CH_3CCl_3	160
2	Carbon tetrachloride	CCl_4	1730
3	Chlorodifluoromethane (HCFC-22)	$CHClF_2$	1760
4	Dichlorodifluoromethane (CFC-12)	CCl_2F_2	10.200
5	Dichlorofluoromethane (HCFC-21)	$CHCl_2F$	148
6	Dichloromethane (Methylene chloride)	CH_2Cl_2	9
7	HCFC-123	$C_2HCl_2F_3$	79
8	Karbon dioksida	CO_2	1
9	Methane	CH_4	28

Sumber: (hasil analisis, 2020) & (CML IA Baseline V3.05)

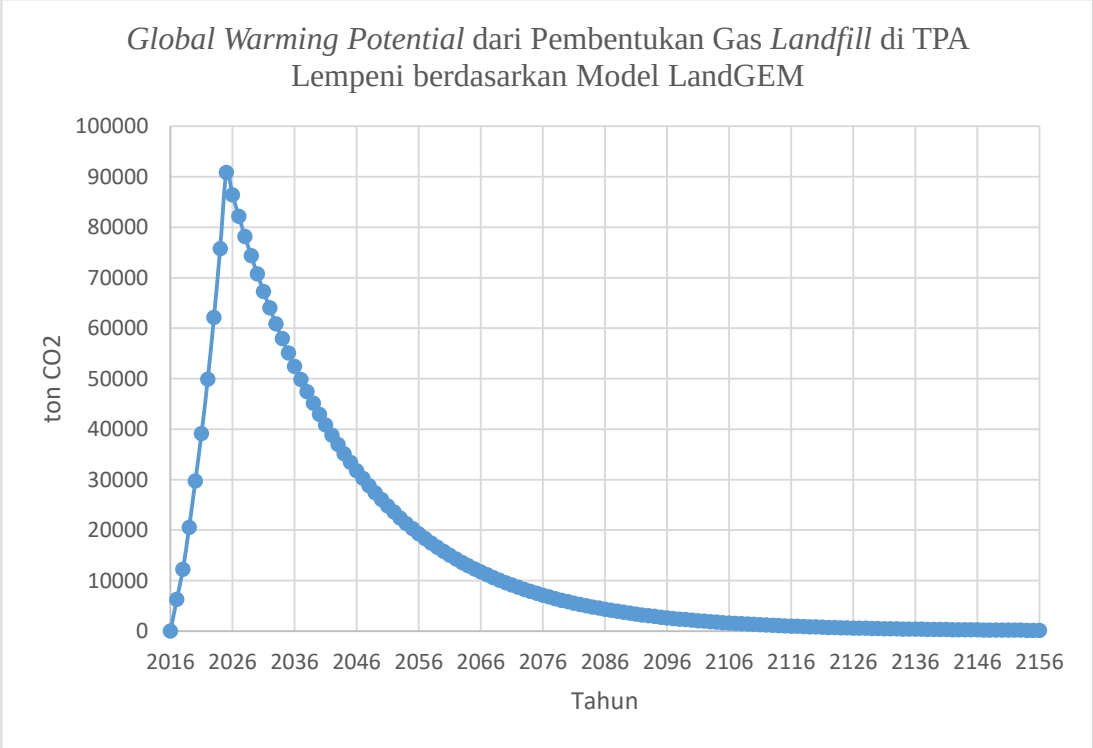
Tabel 4. 25 Hasil Perhitungan Global Warming Potential TPA Lempeni berdasarkan model LandGEM pada tahun 2017

No	Substansi	Faktor GWP (kg CO_2/kg)	Jumlah gas pada tahun 2017 (ton)	GWP tahun 2017 (kg CO_2)
		(1)	(2)	(3)=(1) x (2) x 1000
1	1,1,1 -trichloroethane	110	0,0015	240,52
2	Carbon tetrachloride	1730	0,000014	24,99
3	Chlorodifluoromethane (HCFC-22)	1760	0,00264	4.644,33
4	Dichlorodifluoromethane (CFC-12)	10.200	0,04541	463.216,40
5	Dichlorofluoromethane (HCFC-21)	148	0,00628	929,69
6	Dichloromethane (Methylene chloride)	9	0,02792	251,24
7	Karbon dioksida	1	516,56	516.562,56
8	Methane	28	188,27	5.271.496,90
			Total GWP dalam tahun 2017 (kg CO_2)	6.257.366,63
			Total GWP dalam tahun 2017 (ton CO_2)	6.257,37

Sumber: hasil analisis, 2020

digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id

Perhitungan GWP gas *landfill* TPA Lempeni berdasarkan model LandGEM dari tahun ke tahun disajikan dalam Lampiran VIII. Hasil perhitungan GWP TPA Lempeni berdasarkan model LandGEM disajikan dalam grafik Gambar 4.16. GWP gas *landfill* TPA Lempeni mulai terbentuk pada tahun 2017, dan terus meningkat sampai tahun 2025. GWP TPA Lempeni mencapai nilai tertinggi pada tahun 2025, yaitu sekitar 90.802,42 ton CO_2. Setelah tahun 2025, GWP gas *landfill* TPA Lempeni mengalami penurunan. Total GWP gas *landfill* TPA Lempeni berdasarkan model LandGEM, sampai tahun 2156 adalah 2.154,81 Gg CO_2 atau setara 2.154.810 ton CO_2.

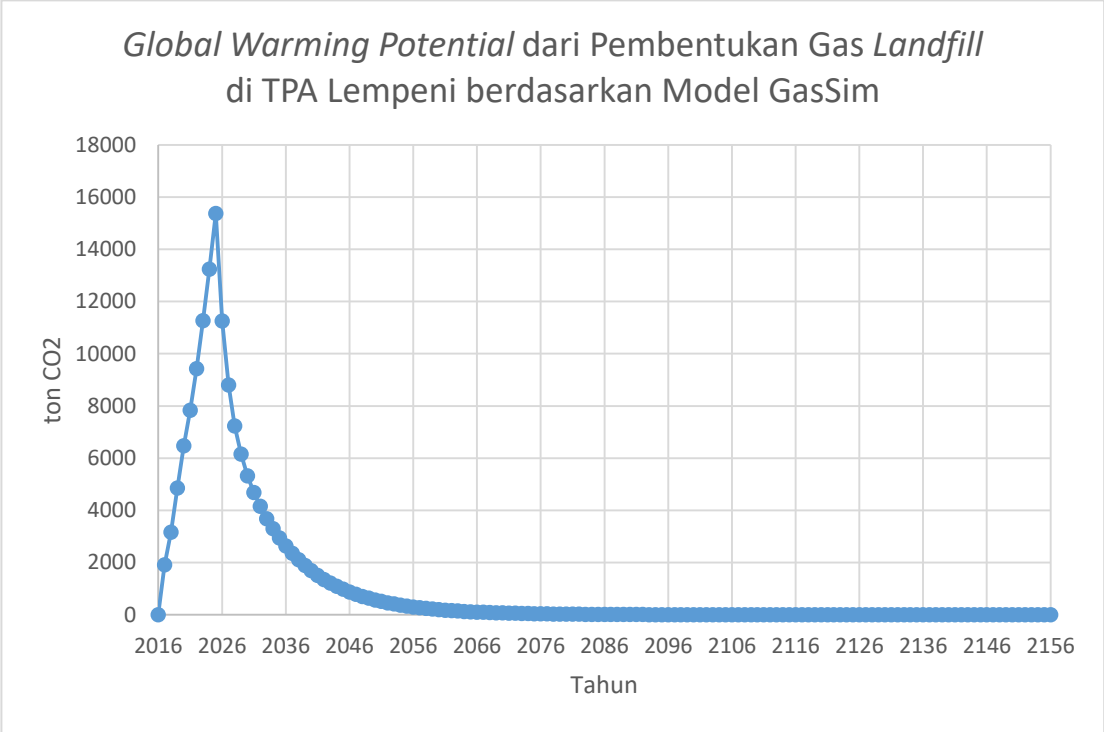


Gambar 4. 16 GWP gas landfill TPA Lempeni dari tahun 2016 sampai 2156 berdasarkan model LandGEM

Perhitungan GWP gas *landfill* TPA Lempeni berdasarkan model GasSim dari tahun ke tahun disajikan dalam Lampiran XIV. Hasil perhitungan GWP TPA Lempeni berdasarkan model GasSim disajikan dalam grafik Gambar 4.17. GWP gas *landfill* TPA Lempeni mulai terbentuk pada tahun 2017, dan terus meningkat sampai tahun 2025. GWP TPA Lempeni mencapai nilai tertinggi pada tahun 2025, yaitu sekitar

digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id

15.368 ton CO_2. Setelah tahun 2025, GWP gas *landfill* TPA Lempeni mengalami penurunan. Total GWP gas *landfill* TPA Lempeni berdasarkan model GasSim, sampai tahun 2156 adalah 156 Gg CO_2 atau setara 156.000 ton CO_2.



Gambar 4. 17 GWP gas landfill TPA Lempeni dari tahun 2016 sampai 2156 berdasarkan model GasSim

Dalam penelitian ini, model pembentukan gas *landfill* diasumsikan dengan konsentrasi 50% gas metan dan 50% gas karbon dioksida. Oleh karena itu, kedua jenis gas tersebut memiliki jumlah sangat dominan dibandingkan dengan gas lainnya. Karena gas metan dan karbon dioksida merupakan jenis Gas Rumah Kaca, tingginya konsentrasi kedua jenis gas tersebut tentu akan berkontibusi besar terhadap *Global Warming Potential (*GWP) yang diakibatkan dari pembentukan gas *landfill.* GWP dari gas *landfill* suatu TPA relatif paling tinggi dibandingkan dengan potensi dampak lainnya, karena tingginya jumlah gas metan dan gas karbon dioksida yang terkandung dalam gas *landfill*, dimana kedua gas tersebut merupakan kontributor utama gas rumah kaca yang menyebabkan *Global warming* (Nikkhah dkk., 2018).

digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id

KLHK memperkirakan emisi Gas Rumah Kaca dari sektor limbah mencapai 120 juta ton CO_2 pada tahun 2017 (BPS, 2019). Berdasarkan model LandGEM, GWP akibat Gas *landfill* di TPA Lempeni pada tahun 2017 mencapai 6.257 ton CO_2. Jumlah tersebut dipekirakan menyumbang sekitar 0,005% dari emisi GRK Nasional sektor limbah. Sedangkan berdasarkan model GasSim, GWP akibat Gas *landfill* di TPA Lempeni pada tahun 2017 mencapai 1,9 ton CO_2. Emisi Gas Rumah Kaca dari sektor limbah secara nasional diperkirakan akan meningkat menjadi 2,6 miliar ton CO_2e pada tahun 2050 (BPS, 2018).

Nilai GWP dari gas *landfill* di TPA Lempeni relatif lebih besar dibandingkan dengan nilai GWP dari TPA Winongo, Madiun. Pada tahun 2025, GWP gas *landfill* di TPA Lempeni diperkirakan mencapai 15.368 ton CO_2 (menurut model GasSim) sedangkan pada tahun yang sama, di TPA Winongo, Kota Madiun, GWP dari gas *landfill* diperkirakan mencapai 7461.38 ton CO_2 (Kiswandayani dkk., 2016). Namun nilai GWP gas *landfill* di TPA Lempeni pada tahun 2025 (tahun puncak) hanya sekitar 8% dari total GWP dari pengolahan sampah di TPA Benowo pada tahun 2013 yaitu sekitar 191.000 ton CO_2 (Auvaria dkk., 2013)

4.11.2. Potensi Penipisan Lapisan Ozon (*Ozone Depletion Potential)*

Potensi *Ozone Depletion* (ODP) dinyatakan dalam kg CFC-11 eqv. Potensi *Ozone Depletion* dihitung dengan mengalikan *Ozone Depletion Potential factor* (ODPf) dan jumlah komponen gas landfill yang dihasilkan. ODP dinyatakan dalam kg CFC-11/kg. Inventarisasi jenis dan jumlah gas *landfill* berdasarkan hasil analisis menggunakan pemodelan LANDGEM dan GasSim. Jenis-jenis gas *landfill* yang berkontribusi terhadap *Ozone depletion* disajikan dalam Tabel 4.26. Perkiraan ODP pada suatu tahun adalah merupakan total ODP yang dihasilkan dari semua komponen gas *landfill* yang berkontribusi terhadap penipisan lapisan ozon. Contoh perhitungan ODP pada tahun 2017 berdasarkan model LandGEM disajikan dalam Tabel 4.27.

digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id

Tabel 4. 26 Ozone depletion Potential (ODP) dari komponen gas landfill yang berkontribusi terhadap penipisan lapisan ozon

No	Substansi	Rumus Senyawa	ODPf (kg CFC-11/kg)
1	1,1,1-Trichloroethane (methyl chloroform)	CH_3CCl_3	0,12
2	HCFC-123	$C_2HCl_2F_3$	0,02
3	Chlorodifluoromethane (HCFC-22)	$CHClF_2$	0,05
4	Dichlorodifluoromethane (CFC-12)	CCL_2F_2	1,00

Sumber: (hasil analisis, 2020) & (CML IA Baseline V3.05)

Tabel 4. 27 Hasil Perhitungan Ozone depletion Potential TPA Lempeni pada tahun 2017

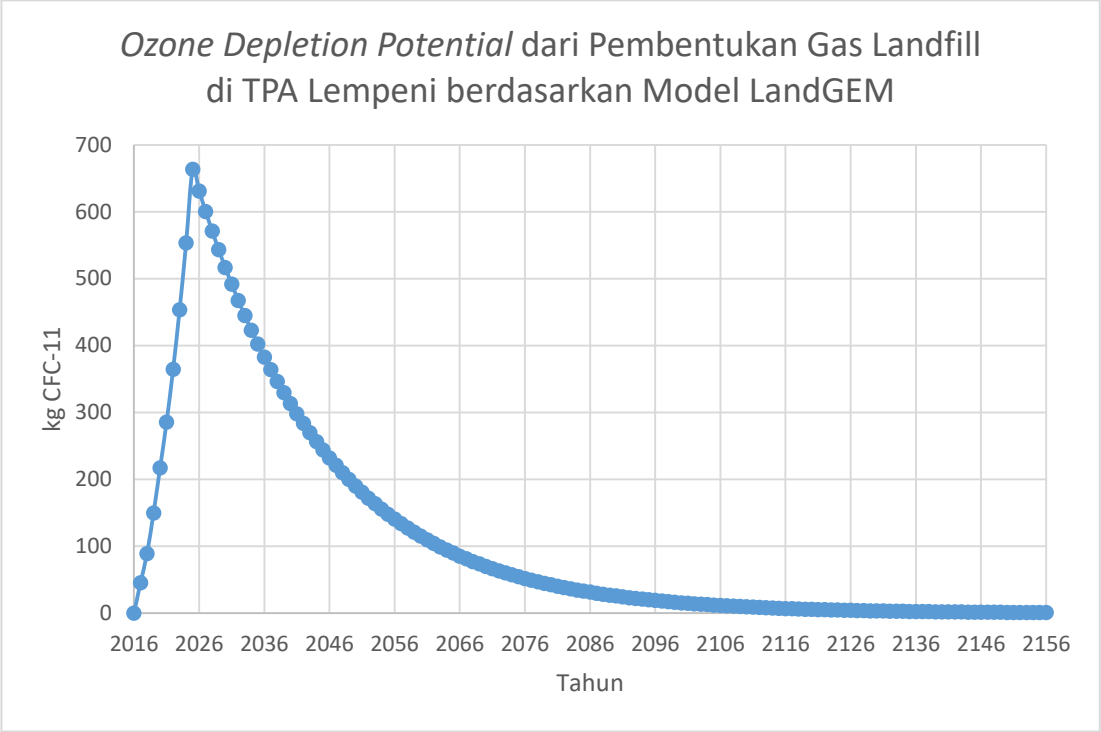
No	Substansi	ODP faktor (kg CFC-11/kg)	Jumlah gas pada tahun 2017 (ton)	ODP pada tahun 2017 (kg CFC-11)
		(1)	(2)	(3) = (1) x (2)
1	1,1,1-Trichloroethane (methyl chloroform)	0,12	0,0015	0,1804
2	Chlorodifluoromethane (HCFC-22)	0,05	0,0051	0,1319
3	Dichlorodifluoromethane (CFC-12)	1,00	0,0454	45,4134
Total ODP pada tahun 2017 (kg CFC-11)				45,7257

Sumber: hasil analisis, 2020

Perhitungan ODP gas *landfill* TPA Lempeni berdasarkan Model LandGEM dari tahun ke tahun disajikan dalam Lampiran IX. Hasil perhitungan ODP TPA Lempeni disajikan dalam grafik Gambar 4.18. ODP gas *landfill* TPA Lempeni mulai terbentuk pada tahun 2017, dan terus meningkat sampai tahun 2025. ODP TPA Lempeni mencapai nilai tertinggi pada tahun 2025, yaitu sekitar 663,539 kg CFC-11 atau setara 0,663 ton CFC-11. Setelah tahun 2025, ODP gas *landfill* TPA Lempeni mengalami

digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id

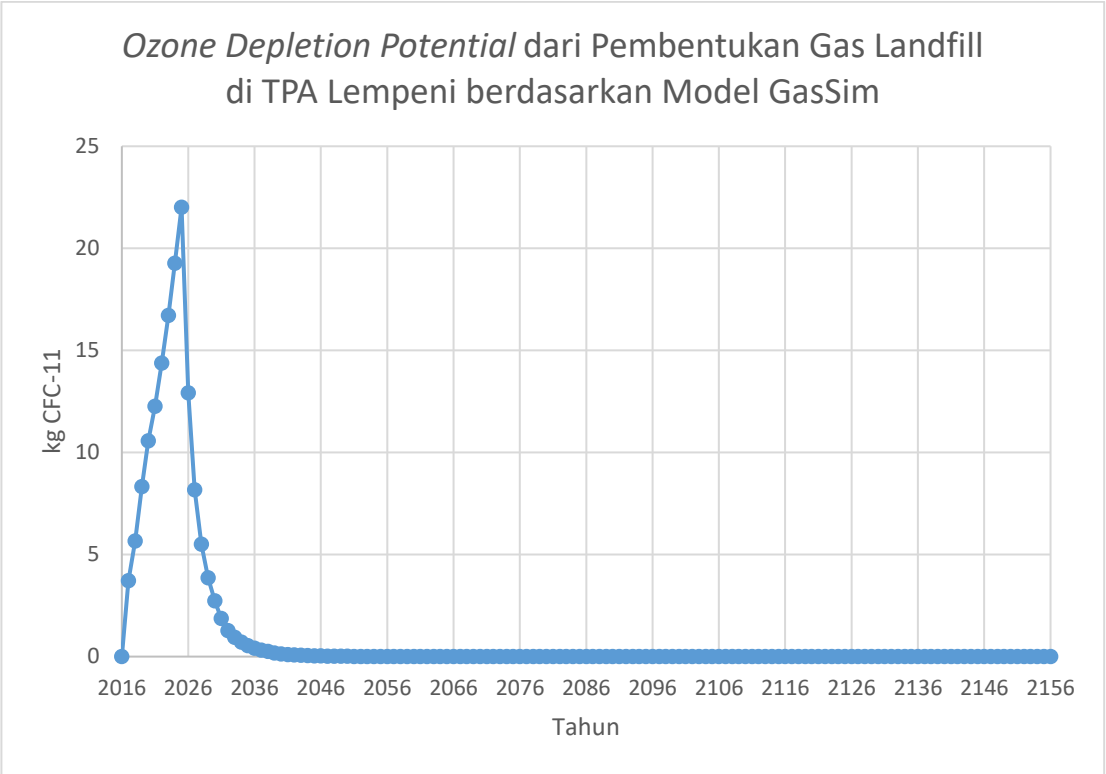
penurunan. Total ODP gas *landfill* TPA Lempeni berdasarkan Model LandGEM sampai tahun 2156 adalah 15,7 ton CFC-11.



Gambar 4. 18 ODP gas landfill TPA Lempeni dari tahun 2016 sampai 2156 berdasarkan Model LandGEM

Perhitungan ODP gas *landfill* TPA Lempeni berdasarkan Model GasSim dari tahun ke tahun disajikan dalam Lampiran XV. Hasil perhitungan ODP TPA Lempeni disajikan dalam grafik Gambar 4.19. ODP gas *landfill* TPA Lempeni mulai terbentuk pada tahun 2017, dan terus meningkat sampai tahun 2025. ODP TPA Lempeni mencapai nilai tertinggi pada tahun 2025, yaitu sekitar 22 kg CFC-11 atau setara 0,022 ton CFC-11. Setelah tahun 2025, ODP gas *landfill* TPA Lempeni mengalami penurunan. Total ODP gas *landfill* TPA Lempeni berdasarkan Model GasSim sampai tahun 2156 adalah 153 kg CFC-11 atau setara 0,153 ton CFC-11.

digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id



Gambar 4. 19 ODP gas landfill TPA Lempeni dari tahun 2016 sampai 2156 berdasarkan Model GasSim

Di Indonesia, data potensi penipisan ozon dari gas landfill belum tersedia. Di *United States* (US), gas landfill menyumbang 0,4% - 1% emisi gas yang berkontribusi terhadapa penipisan lapisan ozon (E. L. Hodson dkk., 2010). Jumlah ini setara dengan emisi gas *landfill* penyebab lapisan ozon sebesar 0,006 -0,09 Gg/tahun. Di United Kingdom (UK), gas *landfill* menyumbang 1% gas CFC-11 dan 6% gas CFC-12 dari total emisi gas penyebab penipisan lapisan ozon. ODP TPA Lempeni mencapai nilai tertinggi pada tahun 2025, yaitu sekitar 22 kg CFC-11 atau setara 0,022 ton CFC-11. Nilai ODP gas *landfill* di TPA Lempeni pada tahun 2025 (tahun puncak) lebih besar sekitar 1,5% dari total ODP pengelolaan sampah di TPA Jabon pada tahun 2027 yaitu sekitar 14,5 kg CFC-11 (Gaol, 2017).

digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id

4.11.3. Potensi Asidifikasi (*acidification potential)*

Berdasarkan hasil pemodelan LANDGEM, inventarisasi komponen gas penyebab asidifikasi adalah gas Hydrogen sulfide (H_2S). Hasil identifikasi inventarisasi gas *landfill* dari hasil Model GasSim, tidak ditemukan senyawa yang tergolong sebagai contributor dampak asidifikasi. Berdasarkan hasil model LandGEM, Kandungan H_2S yang terkandung dalam gas *landfill* TPA Lempeni pada tahun 2017 adalah 0,0288 ton. Factor asidifikasi untuk gas H_2S adalah 1,88 kg SO_2/kg H_2S. Potensi asidifikasi pada tahun 2017 akibat gas *landfill* TPA Lempeni, diketahui dengan mengalikan jumlah berat gas dengan potensi asidifikasi. Perhitungan potensi asidifikasi dari gas H_2S adalah sebagai berikut:

Diketahui:

Kandungan gas H_2S pada tahun2017 = 0,0288 ton

Factor asidifikasi H_2S = 1,88 kg SO_2/kg H_2S

Perhitungan:

*Acidification potential (*AP) tahun 2017 = 1,88 kg SO_2/kg H_2S **x** 28,8 kg

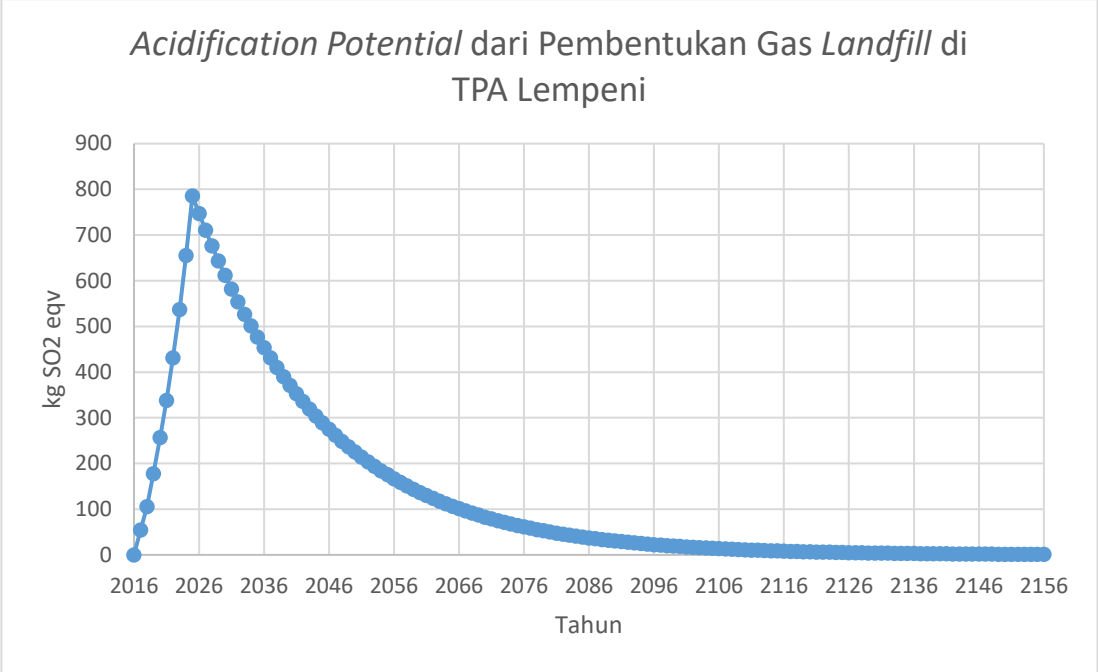
= 54,145 kg SO_2

Jadi, potensi asidifikasi dari gas landfill TPA Lempeni pada tahun 2017 adalah 239,63 kg SO_2. Perhitungan AP gas *landfill* TPA Lempeni dari tahun ke tahun disajikan dalam Lampiran XII. Hasil perhitungan AP TPA Lempeni disajikan dalam grafik Gambar 4.20. AP gas *landfill* TPA Lempeni mulai terbentuk pada tahun 2017, dan terus meningkat sampai tahun 2025. AP TPA Lempeni mencapai nilai tertinggi pada tahun 2025, yaitu sekitar 785,791 kg SO_2 atau setara 0,786 ton SO_2. Setelah tahun 2025, AP gas *landfill* TPA Lempeni mengalami penurunan. Total AP gas *landfill* TPA Lempeni sampai tahun 2156 adalah 18,645 ton SO_2.

Senyawa gas bersifat asam yang terkandung dalam gas *landfill*, berkontribusi terhadap fenomena hujan asam dan memiliki dampak sekunder pada asidifikasi lingkungan. Ammonia adalah senyawa bersifat asam yang dapat ditemukan dalam gas *landfill*. Ammonia berkontribusi pada pembentukan asam nitrat. Asam nitrat dapat merusak tanaman dan menghambat pertumbuhan tanaman (Danthurebandara dkk., 2012). Berdasarkan hasil permodelan LandGEM, tidak ada inventory dari gas

digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id

ammonium. Satu-satunya gas yang terkandung dalam *landfill*, yang berkontribusi terhadap asidifikasi adalah gas Hidrogen sulfida, berdasarkan model LandGEM dan CML IA Baseline. AP gas *landfill* di TPA Lempeni pada puncak produksinya (tahun 2025) diperkirakan mencapai 0,786 ton SO_2. Nilai AP gas *landfill* di TPA Lempeni pada tahun 2025 (tahun puncak) hanya sekitar 1,7% dari total AP dari pengolahan sampah di TPA Benowo pada tahun 2013 yaitu sekitar 47,3 ton SO_2 (Auvaria dkk., 2013)



Gambar 4. 20 AP gas landfill *TPA Lempeni dari tahun 2016 sampai 2156*

4.11.4. Potensi *Photochemical Pollution* / *Photochemical Ozone Creation Potential* (POCP)

Potensi *Photochemical Ozone Creation Potential* (POCP)dinyatakan dalam kg Ethylene eqv. *Photochemical Ozone Creation Potential* (POCP) dihitung dengan mengalikan factor *Photochemical Ozone Creation Potential* (POCP) dan jumlah komponen gas landfill yang dihasilkan. Factor POCP dinyatakan dalam kg Ethylene/kg. Inventarisasi jenis dan jumlah gas *landfill* berdasarkan hasil analisis menggunakan pemodelan LandGEM dan GasSim. Jenis-jenis gas *landfill* yang

digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id

berkontribusi terhadap *Photochemical pollution* disajikan dalam Tabel 4.28. Perkiraan POCP pada suatu tahun adalah merupakan total ODP yang dihasilkan dari semua komponen gas *landfill* yang berkontribusi terhadap *Photochemical pollution* . Contoh perhitungan POCP pada tahun 2017 disajikan dalam Tabel 4.29.

Tabel 4. 28 Photochemical Ozone Creation Potential (POCP) dari komponen gas landfill yang berkontribusi terhadap Photochemical pollution

No	Substansi	Rumus Senyawa	*Photochemical Ozone Creation Potential* (POCP) (kg Ethylene/kg)
1	1,1,1-Trichloroethane (methyl chloroform)	CH_3CCl_3	0,009
2	Acetone	$(CH3)_2CO$	0,094
3	Benzene	C_6H_6	0,218
4	Butane	C_4H_{10}	0,352
5	Ethane	C_2H_6	0,123
6	Dichloromethane (methylene chloride)	H_2Cl_2	0,068
7	Ethanol	C_2H_5OH	0,399
8	Hexane	$CH_3(CH_2)_4CH_3$	0,482
9	Methyl isobutyl ketone	$(CH3)_2CHCH_2C(O)CH_3$	0,49
10	Pentane	C_5H_{12}	0,395
11	Propane	C_3H_8	0,176
12	t-1,2-Dichloroethene	$C_2H_2Cl_2$	0,392
13	Trichloroethylene (trichloroethene)	C_2HCl_3	0,325
14	Methane	CH_4	0,006
15	Acetaldehyde	CH_3CHO	0,641
16	Chloroform	$CHCl_3$	0,023
17	Ethene	C_2H_4	1
18	Pentene	C_5H_{10}	1,12
19	m-Xylene	$C_6H_4(CH_3)_2$	1,11

Sumber: (hasil analisis, 2020) & (CML IA Baseline V3.05)

digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id

Tabel 4. 29 Hasil Perhitungan Photochemical Ozone Creation Potential (POCP) TPA Lempeni pada tahun 2017 berdasarkan Model LandGEM

No	Substansi	Faktor POCP (kg Ethylene/kg)	Jumlah Gas tahun 2017 (ton)	POCP pada tahun 2017 (kg Ethylene)
		(1)	(2)	(3) = (1) x (2) x 1000
1	1,1,1-Trichloroethane (methyl chloroform)	0,009	0,0015	0,0135
2	Acetone	0,094	0,0095	0,8971
3	Benzene	0,218	0,0035	0,7595
4	Butane	0,352	0,0068	2,4013
5	Ethane	0,123	0,6282	77,2734
6	Dichloromethane (methylene chloride)	0,068	0,0279	1,8982
7	Ethanol	0,399	0,0292	11,6533
8	Hexane	0,482	0,0134	6,4357
9	Methyl isobutyl ketone	0,49	0,0045	2,1890
10	Pentane	0,395	0,0056	2,2077
11	Propane	0,176	0,0114	2,0038
12	t-1,2-Dichloroethene	0,392	0,0064	2,4977
13	Trichloroethylene (trichloroethene)	0,325	0,0086	2,8070
14	Methane	0,006	188,27	1129,61
Jumlah POCP pada tahun 2017 (kg Ethylene)				1242,64

Sumber: hasil analisis, 2020

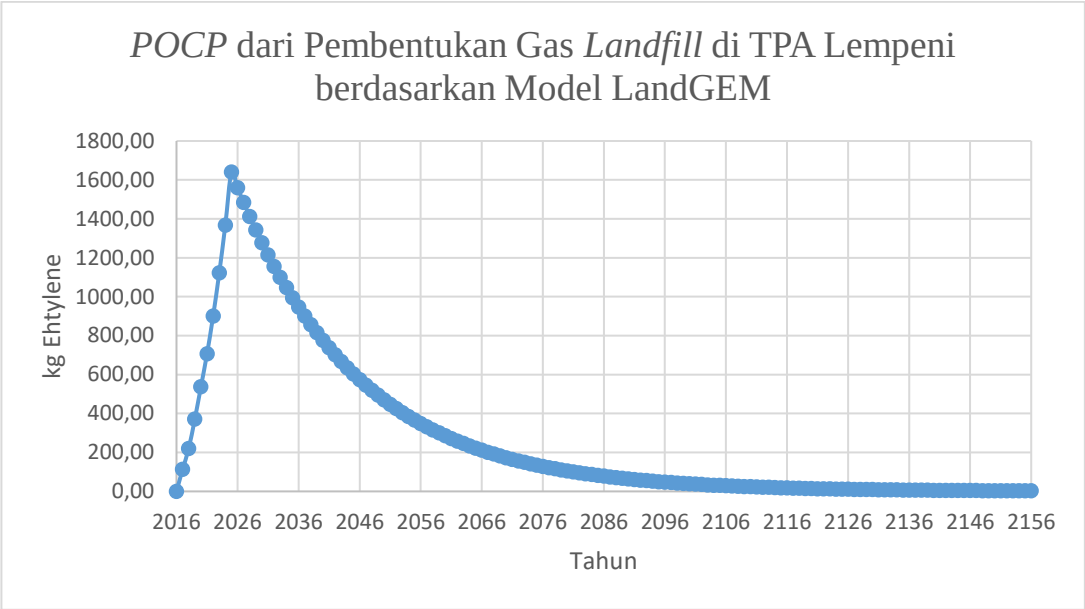
Perhitungan POCP gas *landfill* TPA Lempeni berdasarkan Model LandGEM dari tahun ke tahun disajikan dalam Lampiran X. Hasil perhitungan POCP TPA Lempeni disajikan dalam grafik Gambar 4.21. POCP gas *landfill* TPA Lempeni mulai terbentuk pada tahun 2017, dan terus meningkat sampai tahun 2025. POCP TPA Lempeni mencapai nilai tertinggi pada tahun 2025, yaitu sekitar 18 ton Ethylene. Setelah tahun 2025, POCP gas *landfill* TPA Lempeni mengalami penurunan. Total POCP gas *landfill* TPA Lempeni berdasarkan Model LandGEM sampai tahun 2156 adalah 427 ton Ethylene.

digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id

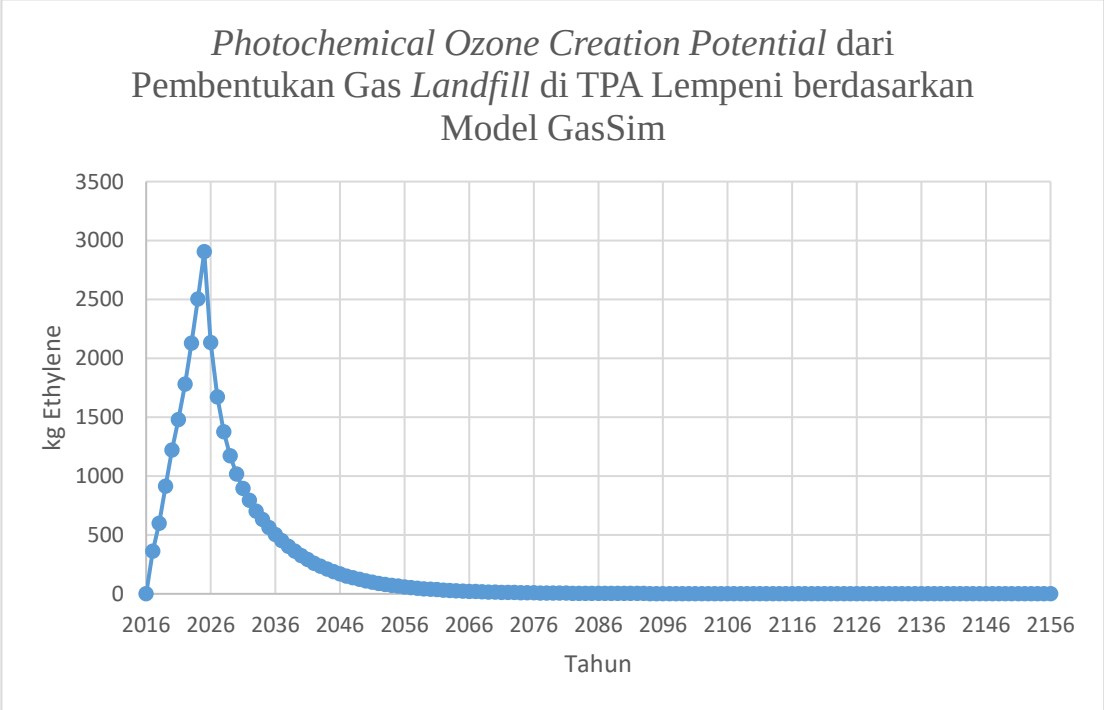
Perhitungan POCP gas *landfill* TPA Lempeni berdasarkan Model GasSim dari tahun ke tahun disajikan dalam Lampiran XVI. Hasil perhitungan POCP TPA Lempeni disajikan dalam grafik Gambar 4.22. POCP gas *landfill* TPA Lempeni mulai terbentuk pada tahun 2017, dan terus meningkat sampai tahun 2025. POCP TPA Lempeni mencapai nilai tertinggi pada tahun 2025, yaitu sekitar 2,9 ton Ethylene. Setelah tahun 2025, POCP gas *landfill* TPA Lempeni mengalami penurunan. Total POCP gas *landfill* TPA Lempeni berdasarkan Model GasSim sampai tahun 2156 adalah 29,7 ton Ethylene.

Photochemical Ozone Creation berkaitan erat dengan erbentuknya *Tropospheric ozon.* Fenomenan ini dapat memicu terjadinya *Photochemical smog* yang mengandung senyawa Hidrogen peroksida dan *Peroxyacyl-nitrate* yang berbahaya bagi makhluk hidup sekitar. *Tropospheric ozone* berbahaya bagi manusia pada konsentrasi lebih dari 200 $\mu g/m^3$, dan dapat merusak vegetasi pada konsentrasi diatas 60 $\mu g/m^3$ (Deed dkk., 2004). Konsentrasi ozon yang tinggi pada *ground level* akan menghambat fotosintesis tumbuhan, menghambat pertumbuhan tanaman, dan menurunkan hasil produksi tanaman pertanian (Danthurebandara dkk., 2012). POCP gas *landfill* di TPA Lempeni mencapai nilai tertinggi pada tahun 2025, yaitu sekitar 2,9 ton Ethylene Namun nilai POCP gas *landfill* di TPA Lempeni pada tahun 2025 (tahun puncak) hanya sekitar 1,9% dari total perkiraan POCP dari pengolahan sampah di TPA Jabon, Kabupaten Sidoarjo pada tahun 2027 yaitu sekitar 149 ton Ethylene (Gaol, 2017).

digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id



Gambar 4. 21 POCP gas landfill TPA Lempeni dari tahun 2016 sampai 2156 berdasarkan Model LandGEM



Gambar 4. 22 POCP gas landfill TPA Lempeni dari tahun 2016 sampai 2156 berdasarkan Model GasSim

digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id

4.11.5. Potensi toksisitas terhadap manusia (*Human toxicity potential)*

Potensi *Human toxicity potential* (HTP) dinyatakan dalam kg 1,4-Dichlorobenzene eqv. *Human toxicity potential* (HTP) dihitung dengan mengalikan factor HTP dan jumlah komponen gas landfill yang dihasilkan. Factor HTP dinyatakan dalam kg 1,4-dichlorobenzene/kg. Inventarisasi jenis dan jumlah gas *landfill* berdasarkan hasil analisis menggunakan pemodelan LANDGEM dan GasSim. Jenis-jenis gas *landfill* yang berkontribusi terhadap *Photochemical pollution* disajikan dalam Tabel 4.30. Perkiraan HTP pada suatu tahun adalah merupakan total HTP yang dihasilkan dari semua komponen gas *landfill* yang berkontribusi terhadap potensi toksisitas pada manusia . Contoh perhitungan HTP pada tahun 2017 berdasarkan Model LandGEM disajikan dalam Tabel 4.31.

Tabel 4. 30 Human Toxicity Potential (HTP) dari komponen gas landfill yang berkontribusi terhadap toksisitas pada manusia

No	Substansi	Rumus Senyawa	Factor *Human toxicity potential* (1,4-dichlorobenzene/kg)
1	1,1,1-Trichloroethane (methyl chloroform)	CH_3CCl_3	16,4
2	Benzene	C_6H_6	1900
3	Carbon tetrachloride	CCl_4	220
4	1,2-Dichloroethane (ethylene dichloride)	$C_2H_4Cl_2$	6,81
5	Acrylonitrile	CH_2CHCN	3350
6	Carbon disulfide	CS_2	2,41
7	Chlorobenzene	C_6H_5Cl	9,23
8	Chloroform	$CHCl_3$	12,7
9	Hydrogen sulfide	H_2S	0,22
10	Mercury	Hg	6010
11	Toluene	C_7H_8	0,327
12	Ethene		0,637

Sumber: (hasil analisis, 2020) & (CML IA Baseline V3.05)

digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id

Tabel 4. 31 Hasil Perhitungan Human toxicicy potential (HTP) TPA Lempeni pada tahun 2017 berdasarkan Model LandGEM

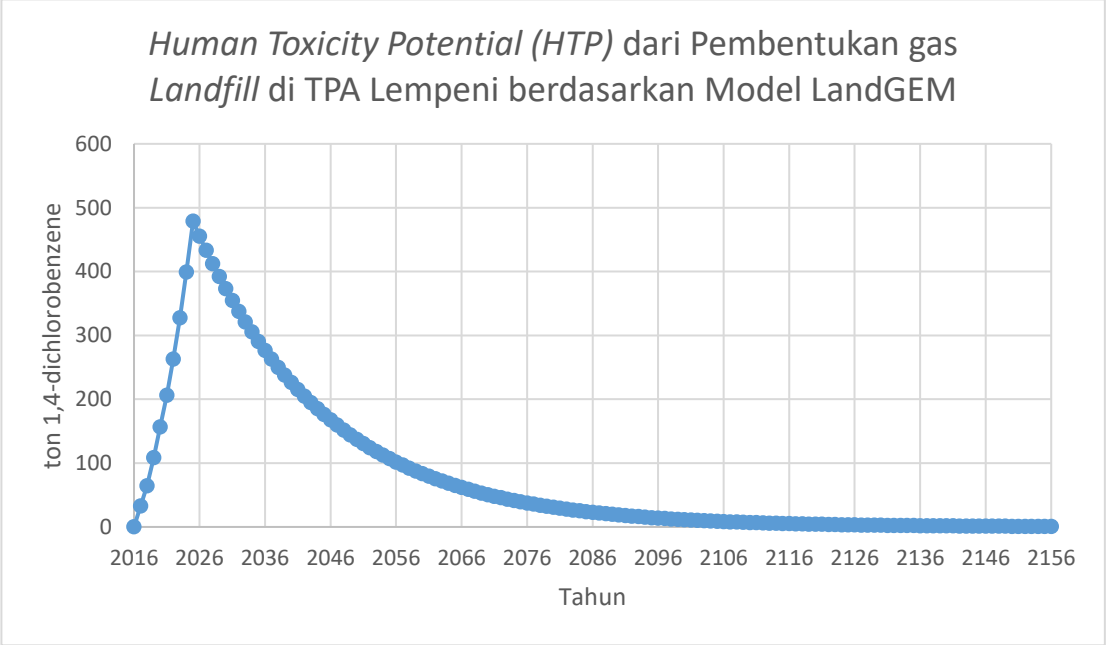
No	Substansi	Factor *Human toxicity potential* (kg 1,4-dichlorobenzene/kg)	Jumlah gas pada tahun 2017 (ton)	*HTP* pada tahun 2017 (kg 1,4-dichlorobenzene)
		(1)	(2)	(3) = (1) x (2) x 1000
1	1,1,1-Trichloroethane (methyl chloroform)	16,4	0,0015	24,6533
2	Benzene	1900	0,0035	6619,3508
3	Carbon tetrachloride	220	0,000014	3,1780
4	1,2-Dichloroethane (ethylene dichloride)	6,81	0,00095	6,4862
5	Acrylonitrile	3350	0,00784	26287,7949
6	Carbon disulfide	2,41	0,00104	2,4981
7	Chlorobenzene	9,23	0,00066	6,0972
8	Chloroform	12,7	0,00008	1,0678
9	Hydrogen sulfide	0,22	0,02881	6,3362
10	Mercury	6010	0,000001	8,2078
11	Toluene	0,327	0,08435	27,5813
Total HTP padatahun 2017 (ton 1,4-dichlorobenzene)				32,9933

Sumber: hasil analisis, 2020

Perhitungan HTP gas *landfill* TPA Lempeni berdaasarkan Model LandGEM dari tahun ke tahun disajikan dalam Lampiran XI. Hasil perhitungan HTP TPA Lempeni disajikan dalam grafik Gambar 4.23. HTP gas *landfill* TPA Lempeni mulai terbentuk pada tahun 2017, dan terus meningkat sampai tahun 2025. HTP TPA Lempeni mencapai nilai tertinggi pada tahun 2025, yaitu sekitar 478,77 ton 1,4-dichlorobenzene. Setelah tahun 2025, HTP gas *landfill* TPA Lempeni mengalami penurunan. Total HTP gas *landfill* TPA Lempeni berdasarkan Model LandGEM sampai tahun 2156 adalah 11.361,65 ton 1,4-dichlorobenzene.

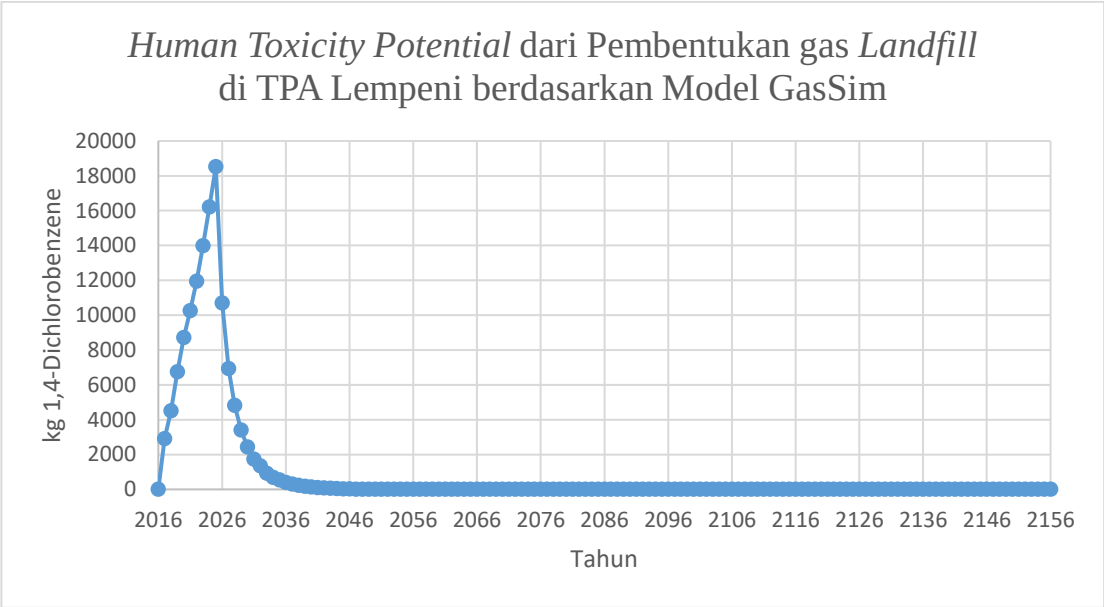
digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id

Perhitungan HTP gas *landfill* TPA Lempeni berdaasarkan Model GasSim dari tahun ke tahun disajikan dalam Lampiran XVII. Hasil perhitungan HTP TPA Lempeni disajikan dalam grafik Gambar 4.24. HTP gas *landfill* TPA Lempeni mulai terbentuk pada tahun 2017, dan terus meningkat sampai tahun 2025. HTP TPA Lempeni mencapai nilai tertinggi pada tahun 2025, yaitu sekitar 18,5 ton 1,4-dichlorobenzene. Setelah tahun 2025, HTP gas *landfill* TPA Lempeni mengalami penurunan. Total HTP gas *landfill* TPA Lempeni berdasarkan Model GasSim sampai tahun 2156 adalah 129 ton 1,4-dichlorobenzene.



Gambar 4. 23 HTP gas landfill TPA Lempeni dari tahun 2016 sampai 2156 berdasarkan Model LandGEM

digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id



Gambar 4. 24 HTP gas landfill TPA Lempeni dari tahun 2016 sampai 2156 berdasarkan Model LandGEM

Banyak gas polutan berbahaya yang terkandung dalam gas *landfill* merupakan senyawa *carcinogenic* (Davoli dkk., 2010). Paparan kontaminan terhadap manusia dapat terjadi melalui kontak langsung, inhalasi, dan saluran pencernaan melalui makanan atau air yang tercemar. Sejumlah studi menunjukkan bahwa resiko kanker semakin tinggi terhadap masyarakat yang tinggal dekat dengan lokasi TPA (Danthurebandara dkk., 2012). Hidrogen sulfida yang terkandung dalam gas *landfill*, merupakan bersifat toksik pada konsentrasi rendah dan tidak terdeteksi oleh indera penciuman pada konsentrasi rendah (Deed dkk., 2004).

digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id

BAB V
PENUTUP

5.1. Kesimpulan

1. Berdasarkan model LandGEM, gas *landfill* dari TPA Lempeni diperkirakan mencapai 242.720 ton sampai tahun 2156. Puncak produksi gas *landfill* terjadi pada tahun 2025 dengan perkiraan jumlah gas yang terbentuk sebesar 10.228 ton. Berdasarkan model GasSim, puncak produksi gas *landfill* terjadi pada tahun 2025 dengan perkiraan jumlah gas yang terbentuk sebesar 2.113 ton.
2. Potensi dampak lingkungan dari pembentukan gas *landfill* di TPA Lempeni adalah sebagai berikut:
   a. Total *Global Warming Potential* (GWP) atau Potensi Pemanasan Global sampai tahun 2156, diperkirakan sebesar 2.154.810 ton CO_2 berdasarkan Model LandGEM, dan diperkirakan sebesar 156.000 ton CO_2 berdasarkan Model GasSim.
   b. *Ozone Depletion Potential* (ODP) atau Potensi Penipisan Lapisan Ozon sampai tahun 2156, diperkirakan sebesar 15,7 ton CFC-11 berdasarkan Model LandGEM, dan diperkirakan sebesar 0,153 ton CFC-11 berdasarkan Model GasSim.
   c. *Acidification Potential* (AP) atau Potensi Asidifikasi sampai tahun 2156, diperkirakan sebesar 18,645 ton SO_2. AP tertinggi terjadi pada tahum 2025 dengan potensi sebesar 0,786 ton SO_2.
   d. *Photochemical Ozone Creation Potential* (POCP) atau Potensi Polusi *Photochemical* sampai tahun 2156, diperkirakan sebesar 427 ton Ethylene berdasarkan Model LandGEM, dan diperkirakan sebesar 29,7 ton Ethylene berdasarkan Model GasSim.
   e. Human Toxicity Potential (HTP) atau Potensi Toksisitas Terhadap Manusia sampai tahun 2156, diperkirakan sebesar 11.361,65 ton 1,4-dichlorobenzene berdasarkan Model LandGEM, dan diperkirakan sebesar 129 ton 1,4-dichlorobenzene berdasarkan Model GasSim.

digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id

5.2. Saran

a. Pembentukan gas *landfill* dipengaruhi oleh banyak faktor, beberapa diantaranya adalah komposisi sampah, temperature, dan kadar air. Untuk mendapatkan perkiraan produksi gas *landfill* yang lebih akurat, diperlukan model gas *landfill* lain yang melibatkan input data dari faktor-faktor yang mempengaruhi pembentukan gas *landfill*.
b. Hasil dalam penelitian ini hanya berupa perhitungan potensi dampak dari gas *landfill*. Untuk menunjukkan dampak lingkungan di lapangan, diperlukan pemodelan dispersi gas *landfill* di atmosfer dan pengujian/penelitian langsung di lapangan.
c. Dalam pengelolaan sampah di TPA Lempeni, perlu mengoptimalkan sistem pengelolaan gas *landfill* untuk mengendalikan dan meminimalkan dampak lingkungan dari pembentukan gas *landfill*.

digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id

DAFTAR PUSTAKA

Aljaradin, M., & Persson, K. M. (2012). Environmental Impact of Municipal Solid Waste Landfills in Semi-Arid Climates -Case Study–Jordan. *The Open Waste Management Journal*, *5*, 28–39.

Amy, A., Burkin, Clint, & Singleton, Amanda. (2005). *Landfill Gas Emission Model (LANDGEM) Version 3.02 User's Guide*. U.S. Environmental Protcetion Agency.

Andreottola, G., Cossu, R., & Ritzkowski, M. (2019). 9.1—Landfill Gas Generation Modeling. Dalam *Solid Waste Landfilling-Concept, Processes, Technologies* (hlm. 419–437). Elsevier Inc.

Andriani, D., & Atmaja, T. D. (2019). The potentials of landfill gas production: A review on municipal solid waste management in Indonesia. *Journal of Material Cycles and Waste Management*. https://doi.org/10.1007/s10163-019-00895-5

Auvaria, S. W., Pandebesie, E. S., & Warmadewanthi, I. (2013). Life Cycle Assessment (LCA) pad Pengelolaan Sampah di TPA Benowo Kota Surabaya. *Prosiding Seminar Nasional Manajemen Teknologi XVII*.

Bappeda Kabupaten Lumajang. (2017). *Indikator Ekonomi Daerah Kabupaten Lumajang Tahun 2017*. Bappeda Kabupaten Lumajang.

Bappeda Lumajang. (2020). *Dokumen Review Master Plan Persampahan Kabupaten Lumajang*. Bappeda Lumajang.

BPS. (2018). *Statistik Lingkungan Hidup Indonesia 2018*. Badan Pusat Statistik Indonesia.

BPS. (2019). *Statistik Lingkungan Hidup Indonesia 2019*. Badan Pusat Statistik Indonesia.

BPS Kabupaten Lumajang. (2003). *Kabupaten Lumajang Dalam Angka 2003*. BPS Kabupaten Lumajang.

BPS Kabupaten Lumajang. (2005). *Kabupaten Lumajang Dalam Angka 2005*. BPS Kabupaten Lumajang.

digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id

BPS Kabupaten Lumajang. (2009). *Kabupaten Lumajang Dalam Angka 2009*. BPS Kabupaten Lumajang.

BPS Kabupaten Lumajang. (2011). *Kabupaten Lumajang Dalam Angka 2011*. BPS Kabupaten Lumajang.

BPS Kabupaten Lumajang. (2012). *Kabupaten Lumajang Dalam Angka 2012*. BPS Kabupaten Lumajang.

BPS Kabupaten Lumajang. (2013). *Kabupaten Lumajang Dalam Angka 2013*. BPS Kabupaten Lumajang.

BPS Kabupaten Lumajang. (2014). *Kabupaten Lumajang Dalam Angka 2014*. BPS Kabupaten Lumajang.

BPS Kabupaten Lumajang. (2015). *Kabupaten Lumajang Dalam Angka 2015*. BPS Kabupaten Lumajang.

BPS Kabupaten Lumajang. (2016). *Kabupaten Lumajang Dalam Angka 2016*. BPS Kabupaten Lumajang.

BPS Kabupaten Lumajang. (2017). *Kabupaten Lumajang Dalam Angka 2017*. BPS Kabupaten Lumajang.

BPS Kabupaten Lumajang. (2018). *Kabupaten Lumajang Dalam Angka 2018*. BPS Kabupaten Lumajang.

BPS Kabupaten Lumajang. (2019). *Kabupaten Lumajang Dalam Angka 2019*. BPS Kabupaten Lumajang.

BPS Kabupaten Lumajang. (2020). *Kabupaten Lumajang Dalam Angka 2020*. BPS Kabupaten Lumajang.

Cho, H. S., Moon, H. S., & Kim, J. Y. (2012). Effect of quantity and composition of waste on the prediction of annual methane potential from landfills. *Bioresource Technology*, *109*, 86–92.

Choudhary, A., Kumar, A., & Kumar, S. (t.t.). National Municipal Solid Waste Energy and Global Warming Potential Inventory: India. *Journal of Hazardous, Toxic, and Radioactive Waste*, *24*(4), 2020.

Damanhuri, E., & Padmi, T. (2015). *Pengelolaan Sampah Terpadu* (2 ed.). ITB Press.

digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id

Danthurebandara, M., Passel, S. V., Nelen, D., Tielemans, Y., & Acker, K. V. (2012). *Environmental and Socio-Economic Impacts of Landfills*. 14.

Davoli, E., Fattore, E., Paiano, V., Colombo, A., Palmiotto, M., A. N. Rossi, M. Il Grande, & R. Fanelli. (2010). Waste management health risk assessment: A case study of a solid waste landfill in South Italy. *Waste Management*, *30*, 1608–1613.

Deed, C., Boun, M., Braithwaite, P., Duckworth, G., Gronow, J., Mark Maleham, Jill Rooksby, Alan Rosevear, & Richard Smith. (2004). *Guidance on Management of Landfill Gas*. Environment Agency UK.

DLH Kabupaten Lumajang. (2019a). *Master Plan Pengelolaan Sampah Kabupaten Lumajang*.

DLH Kabupaten Lumajang. (2019b). *Rencana Strategis (Renstra) 2018-2023*. DLH Kabupaten Lumajang.

Donovan, S. M., Bateson, T., Gronow, J. R., & Voulvoulis, N. (2010). Modelling the behaviour of mechanical biological treatment outputs in landfills using the GasSim model. *Science of the Total Environment*, *408*, 1979–1984.

Drainage Service Department. (2018). *Stormwater Drainage Manual—Planning, Design, and Management* (5th ed.). Government of the Hongkong Special Administrative Region.

E. L. Hodson, D. Martin, & R. G. Prinn. (2010). The municipal solid waste landfill as a source of ozone-depleting substances in the United States and United Kingdom. *Atmospheric Chemistry and Physics*, *10*, 1899–1910.

Ehrig, H.-J., Schneider, H.-J., & Gossow, V. (2011). Waste, 7. Deposition. Dalam Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA (Ed.), *Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry*. Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA. http://doi.wiley.com/10.1002/14356007.o28_o07

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

digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id

Fei, X., Zekkos, D., & Raskin, L. (2015). Quantification of parameters influencing methane generation due to biodegradation of municipal solid waste in landfills and laboratory experiments. *Waste Management*. http://dx.doi.org/10.1016/j.wasman.2015.10.015

Gaol, M. L. (2017). *Life Cycle Assessment (LCA) Pengelolaan Sampah pada Tempat Pemrosesan Akhir (TPA) Sampah (Studi Kasus: TPA Jabon, Kabupaten Sidoarjo)*. Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Gollapalli, M., & Kota, S. H. (2018). Methane emissions from a landfill in north east India: Performance of various landfill gas emission models. *Environmental Pollution*, *234*, 174–180.

Guinée, J. B., Huppes, G., De Koning, A., Van Oers, L., Sleeswijk, A. W., & Suh, S. (2004). *Handbook On Life Cycle Assessment*. Kluwer Academic Publishers.

Hall, D. (2007). *GasSim Lite User Manual*. Environment Agency UK.

Hartz, K. E., & Ham, R. K. (1983). Moisture Level and Movement Effects on Methane Production Rates in Landfill Samples. *Waste Management*, *1*, 139–145.

Jauhari, M. (2016). *Penerapan metode Thownwaite Matter dalam analisa kekeringan di DAS Dodokan—Kabupaten Lombok Tengah—Nusa Tenggara Barat*. Universtas Brawijaya.

Johari, A., Ahmed, S. I., Hashim, H., Alkali, H., & Ramli, M. (2012). Economic and environmental benefits of landfill gas from municipal solid waste in Malaysia. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *16*, 2907–2912.

Kamalan, H., Sabour, M., & Shariatmad, N. (2011). A Review on Available Landfill Gas Models. *Journal of Environmental Science and Technology*, *4*(2), 79–92. https://doi.org/10.3923/jest.2011.79.92

Kementerian PU-Ditjen Cipta Karya-Satuan Kerja PPLP Jawa Timur. (2014). *Fasilitas Penyusunan Master Plan dan DED Persampahan Kabupaten Lumajang Tahun 2014*.

Kiswandayani, A. V., Susanawati, L. D., & Wirusoedarmo, R. (2016). Komposisi Sampah dan Potensi Emisi Gas Rumah Kaca pada Pengelolaan Sampah

digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id

Domestik: Studi Kasus TPA Winongo Kota Madiun. *Jurnal Sumberdaya Alam dan Lingkungan*.

Kreith, F., & Tchobanoglous, G. (Ed.). (2002). *Handbook of solid waste management* (2nd ed). McGraw-Hill.

Lei, L., Chun, Y., Jiangshan, L., & Yu, T. (2012). The effect of temperature on landfill gas production with waste degradation. *Advanced Materials Research*, *599*, 570–573.

Majdinasab, A., Zhang, Z., & Yuan, Q. (2017). Modelling of landfill gas generation: A review. *Reviews in Environmental Science and Bio/Technology*, *16*(2), 361–380. https://doi.org/10.1007/s11157-017-9425-2

Nikkhah, A., Khojastehpour, M., & Abbaspour-Fard, M. H. (2018). Hybrid Landfill Gas Emissions Modeling and Life Cycle Assessment for Determining the Appropriate Period to Install Biogas System. *Journal of Cleaner Production*.

Njoku, P. O., Odiyo, J. O., Durowoju, O. S., & Edokpayi, J. N. (2018). A Review of Landfill Gas Generation and Utilisation in Africa. *Open Environmental Sciences*, *10*(1), 1–15. https://doi.org/10.2174/1876325101810010001

Nwaokorie, K. J., Bareither, C. A., Mantell, S. C., & Leclaire, D. J. (2018). The influence of moisture enhancement on landfill gas generation in a full-scale landfill. *Waste Management*, *79*, 647–657. https://doi.org/10.1016/j.wasman.2018.08.036

Singh, G. K., Gupta, K., & Chaudhary, S. (2014). Solid Waste Management: Its Sources, Collection, Transportation and Recycling. *International Journal of Environmental Science and Development*, *5*(4), 347–351. https://doi.org/10.7763/IJESD.2014.V5.507

Sri Wahyono. (2015). Studi Potensi dan Kualitas Gas dari Tempat Pemrosesan Akhir Sampah Kota Probolinggo. *Jurnal Teknologi Longkungan*, *16*(1), 15–20.

Su, D. (Ed.). (2020). *Sustainable Product Development: Tools, Methods and Examples*. Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-39149-2

US Environmental Protection Agency. (2012). *International Best Practices Guide for Landfill Gas Energy Projects*. Global Methane Initiative.

digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id

V., J. M. T., Giampietro, M., Ripa, M., & Chifari, R. (2018). Landfill reactions to society actions: The case of local and global air pollutants of Cerro Patacón in Panama. *Science of the Total Environment*.

digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id