

SKRIPSI

**POTENSI GAS METANA TPA TAMANGAPA MENGGUNAKAN
MODEL *LandGEM* DAN *IPCC 2006***

Disusun Dan Diajukan Oleh:

Erina Dwi Ramadhani

D021181305



DEPARTEMEN TEKNIK MESIN

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS HASANUDDIN

GOWA

2022

SKRIPSI

**POTENSI GAS METANA TPA TAMANGAPA MENGGUNAKAN
MODEL *LandGEM* DAN *IPCC 2006***

Disusun Dan Diajukan Oleh :

Erina Dwi Ramadhani

D021181305

**Merupakan salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik
Mesin pada Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin**

DEPARTEMEN TEKNIK MESIN

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS HASANUDDIN

GOWA

2022

LEMBAR PENGESAHAN

Tugas akhir ini diajukan untuk memenuhi salah satu persyaratan Mengikuti Ujian Akhir guna memperoleh gelar Sarjana Teknik Mesin pada Departemen Mesin Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin

JUDUL :

**POTENSI GAS METANA TPA TAMANGAPA MENGGUNAKAN
MODEL *LandGEM* DAN *IPCC 2006***

ERINA DWI RAMADHANI

D021181305

Gowa, September 2022

Telah diperiksa dan disetujui oleh:

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II


Prof. Dr. Eng. Andi Erwin Eka Putra, ST., MT
NIP. 19711221 199802 1 001


Ir. Andi Mangkau, M.T
NIP. 19611231 199002 1 003

Mengetahui,
Ketua Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknik
Universitas Hasanuddin


Dr. Eng. Ir. Jalaluddin ST., MT.
NIP. 19720825 200003 1 001

LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Erina Dwi Ramadhani
NIM : D021181305
Program Studi : Teknik Mesin
Jenjang : S-1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul

“POTENSI GAS METANA TPA TAMANGAPA MENGGUNAKAN
MODEL *LandGEM* DAN *IPCC 2006*”

Adalah hasil penelitian, pemikiran saya sendiri dan bukan merupakan pengambil alihan tulisan orang lain. Saya tidak mencantumkan tanpa pengakuan bahan-bahan yang telah dipublikasikan sebelumnya, atau sebagai bahan yang pernah diajukan untuk gelar atau ijazah pada Universitas Hasanuddin atau perguruan tinggi lainnya.

Apabila dikemudian hari terdapat penyimpangan atau ketidakbenaran dalam pernyataan ini, maka saya bersedia menerima sanksi akademik sesuai dengan peraturan yang berlaku di Universitas Hasanuddin.

Gowa, September 2022

Yang membuat pernyataan,



Erina Dwi Ramadhani

POTENSI GAS METANA TPA TAMANGAPA MENGGUNAKAN MODEL *LandGEM* DAN *IPCC 2006*

ABSTRAK

TPA Tamangapa terletak di Kota Makkasar yang telah beroperasi dari tahun 1993 sampai sekarang menggunakan metode *open dumping*, jumlah timbulan sampah di TPA Tamangapa sebesar 767.002 kg/hari, jumlah timbulan sampah tersebut tentunya dapat memberikan potensi gas dari hasil proses *Landfilling* di TPA. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui nilai dari Timbulan, dan Komposisi sampah di TPA Tamangapa, mengetahui sisa masa layanan TPA, mengestimasi potensi gas metana di TPA dan mengetahui potensi pemanfaatan gas metana. Penelitian ini menggunakan *software excel LandGEM* dan *IPCC 2006* untuk perhitungan emisi gas metana. Hasil pengolahan data menunjukkan bahwa timbulan sampah rata-rata sebesar 0,49 kg/org/hari, dan persentase komposisi sampah terbesar berupa sampah organik (69,56%) dan persentase terkecil sampah kayu-ranting (1,58%). Berdasarkan hasil perhitungan, masa layanan TPA Tamangapa sampai tahun 2020 bulan Agustus sedangkan hasil dari *software LandGEM* pada tahun 2009. Hasil perhitungan dengan *software LandGEM* pada tahun 2009 sebesar 2,87 Gg/tahun dan untuk *software IPCC 2006 pada tahun 2032* sebesar 16,505 Gg/Tahun. Pemanfaatan Gas metana di TPA Tamangapa dapat dimanfaatkan sebagai energi listrik, untuk energi listrik dari hasil konversi sampah menghasilkan total daya listrik sebesar 3.883,6 kWh atau 3,884 MWh yang bernilai sekitar Rp.5.610.644.

Kata Kunci : Gas Metana, *LandGEM*, *IPCC 2006*, TPA Tamangapa

**THE POTENTIAL OF METHANE GAS AT TPA TAMANGAPA BY
UTILIZING THE *LandGEM* AND *IPCC 2006* MODELS**

ABSTRACT

TPA Tamangapa is located in Makassar City. It has been operated from 1993 until now by conducting the open dumping method. The amount of waste volume at TPA Tamangapa is 767.002 kg/day, and the amount of waste volume can provide gas potential from the Landfilling process at the landfill. This study aims to determine the value of the volume and composition of waste at the TPA Tamangapa, discover the remaining service period of the landfill, estimate the potential of methane gas at the landfill, and determine the potential for utilization of methane gas. This research used LandGEM excel software and IPCC 2006 to calculate methane gas emissions. The data showed that the average waste volume was 0,49 kg/person/day. The highest percentage of waste composition is organic waste (69,56%), and the lowest is wood-branch waste (1,58%). Based on the calculation results, the service period of TPA Tamangapa was held until August 2020, while the results of the LandGEM software asserted that it was in 2009. The calculation results using LandGEM software in 2009 were 2,87 Gg/year and 16,505 Gg/Year for IPCC 2006 software in 2032. The utilization of methane gas at TPA Tamangapa is as electrical energy. The electrical energy from the conversion of garbage produces a total electrical power of 3.883,6 kWh or 3,884 MWh, which costs around Rp. 5.610.644.

Keywords: Methane Gas, *LandGEM*, *IPCC 2006*, TPA Tamangapa

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur atas kehadiran Tuhan Yang Maha Esa, yang telah memberikan kekuatan, rahmat dan hidayah-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir dengan judul ***“Potensi Gas Metana TPA Tamangapa Menggunakan Model LandGEM dan IPCC 2006”***.

Penyusunan Tugas Akhir ini dilakukan dalam rangka memenuhi syarat untuk mencapai gelar Sarjana Teknik di Departemen Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin. Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari kesempurnaan, oleh sebab itu penulis mengharapkan kritik dan saran yang bersifat membangun dari semua pihak.

Penulis menyadari sepenuhnya bahwa dalam rangkaian kegiatan penelitian serta penulisan Tugas Akhir ini tidak akan terlaksana sebagaimana yang diharapkan tanpa adanya bantuan moril maupun materil baik langsung maupun tidak langsung dan dukungan dari berbagai pihak, sehingga pada kesempatan ini dengan segala kerendahan hati dan penuh rasa hormat penulis menghaturkan terima kasih yang sebesar-besarnya, terutama kepada:

1. Orangtua saya tercinta, Bapak Alm. Muh. Ramli Gani, S.H dan Ibu Andi Hartina serta kakak yang amat saya sayangi Indah Viqrianti Ramli, S.Pd, M.Pd. mereka yang selalu mendoakan, memotivasi, menyemangati dan pengorbanannya untuk penulis sehingga dapat menyelesaikan tugas akhir ini.
2. Bapak Prof. Dr. Ir. Jamaluddin Jompa, M.Sc. selaku Rektor Universitas Hasanuddin.
3. Bapak Prof. Dr. Eng. Muhammad Isran Ramli, ST., MT. selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
4. Bapak Dr. Eng. Jalaluddin ST., MT selaku Ketua Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
5. Bapak Dr. Muhammad Syahid, ST, MT, selaku Sekretaris Departemen Mesin Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.

6. Bapak Prof. Dr. Eng. Andi Erwin Eka Putra, ST.,MT. selaku pembimbing I Tugas Akhir yang telah memberikan kritik dan saran bimbingan maupun arahan yang sangat berguna dalam penyusunan tugas akhir ini.
7. Bapak Ir. Andi Mangkau, M.T selaku pembimbing II Tugas Akhir atas segala bimbingan, arahan serta masukan selama penyusunan tugas akhir ini.
8. Ibu Dr.Eng. Novriany Amaliyah, ST.,MT. selaku penguji.
9. Bapak Asriadi Sakka, ST., M.Eng. selaku penguji.
10. Segenap Dosen serta staff Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
11. Sahabat, saudara serta partner dalam segala hal, Nurkhafidzah yang selalu mendengarkan keluh kesah saya dari zaman mahasiswa baru sampai bisa sama-sama sampai di tahap ini.
12. Saudara seperjuangan REACTOR 2018 yang selalu menjadi tim *support* yang hebat. Khususnya kepada CEMES 18, Nadya Indriani Sazqia, Dea Asrini Mas'ud, Sitti Lainun Humairah Azzahrah dan Novita Angraeni. Saudara Rizki Habibie dan Ketua Angkatan Nur Wahyudi Bakhri serta teman-teman lainnya yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu.

Gowa, September 2022

Penulis

DAFTAR ISI

SAMPUL	i
LEMBAR PENGESAHAN	iii
LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN	iv
ABSTRAK	v
KATA PENGANTAR	vii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR TABEL	xiii
DAFTAR SIMBOL	xiv
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	3
1.3. Tujuan Penelitian.....	3
1.4. Batasan Masalah.....	3
1.5. Manfaat Penelitian.....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1. Proses Pembentukan Gas Metana.....	5
2.1.1. Gas Metana.....	5
2.1.2. Pembentukan Gas <i>Landfill</i>	6
2.1.3. Pembentukan Gas Metana.....	7
2.2. Sampah	9
2.2.1. Pengertian Sampah.....	9
2.2.2. Karakteristik dan Komposisi Sampah.....	10
2.2.3. Jenis Sampah.....	12
2.3. Tempat Pembuangan Akhir (TPA).....	13
2.3.1. Pembuangan Sampah secara terbuka (<i>Open Dumping</i>).....	14
2.3.2. Lahan urug terkendali (<i>Controlled Landfill</i>).....	15
2.3.3. Lahan Urug Saniter (<i>Sanitary Landfill</i>)	15
2.4. Permodelan Gas Metana dengan <i>LandGEM</i>	17
2.5. Permodelan Gas Metana dengan <i>IPCC 2006</i>	20

BAB III METODOLOGI PENELITIAN	21
3.1. Waktu dan Tempat Penelitian	21
3.2. Jenis dan Sumber Data	21
3.2.1 Jenis Data	21
3.2.2 Sumber Data.....	21
3.3. Alat Penelitian	21
3.3.1 Model <i>Landfill Gas Emmisions Model (LandGEM)</i>	21
3.3.2 Model <i>IPCC 2006</i>	22
3.4. Prosedur Penelitian	23
3.4.1 Studi Literatur	23
3.4.2 Pengumpulan data	23
3.4.3 Pengolahan Data.....	23
3.5. Flowchart Penelitian	24
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	25
4.1. Proyeksi Penduduk Kota Makassar	25
4.1.1. Metode Aritmatika	26
4.1.2. Metode Geometri	27
4.1.3. Metode Least Square.....	28
4.1.4. Nilai Koefisien Korelasi Ketiga Metode.....	30
4.1.5. Proyeksi Penduduk Dengan Metode Aritmatika.....	30
4.2. Prediksi Timbulan Sampah.....	32
4.3. Komposisi Sampah TPA Tamangapa.....	34
4.4. Perhitungan Sisa Masa Layanan TPA Tamangapa	35
4.4.1. Berdasarkan Sisa Luas Lahan & Volume Timbulan Sampah.....	35
4.4.2. Berdasarkan <i>Software LandGEM</i>	36
4.5. Perhitungan Potensi Gas Metana dengan <i>LandGEM</i>	37
4.6. Perhitungan Potensi Gas Metana dengan <i>IPCC 2006</i>	39
4.7. Pemanfaatan Gas Metana Menjadi Energi	43
BAB V PENUTUP.....	48
5.1. Kesimpulan.....	48
5.2. Saran.....	49

DAFTAR PUSTAKA	50
LAMPIRAN.....	52

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Ikatan Kimia Senyawa Metana	5
Gambar 2.2	Persentase Gas Rumah Kaca di Atmosfer	6
Gambar 2.3	Metode <i>Open Dumping</i>	14
Gambar 2.4	Metode <i>Controlled Landfill</i>	15
Gambar 2.5	Metode <i>Sanitary Landfill</i>	16
Gambar 2.6	<i>Software LandGEM</i>	18
Gambar 3.1	Model <i>LandGEM</i>	22
Gambar 3.2	Model <i>IPCC 2006</i>	22
Gambar 4.1	Diagram Komposisi Sampah TPA Tamangapa Tahun 2021	35
Gambar 4.2	<i>Input Review Software LandGEM</i>	36
Gambar 4.3	<i>User Input</i> model <i>LandGEM</i> mulai tahun 1993-2021	37
Gambar 4.4	Perbandingan hasil perhitungan gas metana tahun 1993-2032 menggunakan <i>software LandGEM</i>	38
Gambar 4.5	Grafik hasil perhitungan <i>landfill</i> gas dengan <i>software LandGEM</i> tahun 1993-2032	39
Gambar 4.6	Hasil perhitungan gas metana tahun 1993-2032 menggunakan <i>software IPCC 2006</i>	41
Gambar 4.7	Grafik validasi perhitungan emisi gas metana tahun 1993-2032 dengan <i>LandGEM</i> dan <i>IPCC 2006</i>	42
Gambar 4.8	Teknologi <i>Internal Combustion Engine</i>	44

DAFTAR TABEL

Tabel 4.1	Jumlah Penduduk Kota Makassar tahun 2012-2021	25
Tabel 4.2	Perhitungan Koefisien Korelasi (r) dengan metode aritmatika	26
Tabel 4.3	Perhitungan proyeksi penduduk dengan metode geometri	27
Tabel 4.4	Perhitungan proyeksi penduduk dengan metode <i>least square</i>	29
Tabel 4.5	Nilai koefisien korelasi 3 metode	30
Tabel 4.6	Perhitungan persentase penduduk	31
Tabel 4.7	Perhitungan proyeksi penduduk dengan metode aritmatika	32
Tabel 4.8	Timbulan sampah TPA Tamangapa tahun 2006-2021	33
Tabel 4.9	Prediksi timbulan sampah TPA Tamangapa berdasarkan proyeksi penduduk menggunakan metode aritmatika	34
Tabel 4.10	Komponen Komposisi Sampah TPA Tamangapa tahun 2021	34
Tabel 4.11	Hasil konversi energi gas metana model <i>LandGEM</i> menjadi energi listrik	45
Tabel 4.12	Hasil konversi energi gas metana model <i>IPCC 2006</i> menjadi energi listrik	45

DAFTAR SIMBOL

DOC	: Karbon organik yang mudah terurai (<i>Degradable Organic Carbon</i>)
DDOC _m	: Penguraian DOC
DOC _f	: Fraksi DOC
H _o	: Nilai kalor <i>landfill gas</i>
MCF	: <i>Methane Correction Factor</i>
OX	: Faktor oksidasi
ρ	: Massa jenis <i>landfill gas</i>
P _g	: Daya yang dihasilkan
P _o	: Jumlah penduduk tahun dasar
P _t	: Jumlah penduduk tahun t
Q _t	: Produksi gas metana
r	: Angka pertumbuhan penduduk
R	: <i>Recovery</i> CH ₄ di TPA
t	: Waktu
W	: Massa sampah

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Kota Makassar merupakan salah satu kota besar yang ada di Indonesia dengan jumlah penduduk 1.423.877 jiwa pada tahun 2020 dengan pertumbuhan penduduk sebesar 1,18% per tahun (BPS,2020). Tempat Pembuangan Akhir (TPA) Tamangapa terletak di Kecamatan Manggala, Kota Makassar dan memiliki luas area 14,3 hektar dengan penambahan 2,5 Ha dan 5 Ha masih dalam tahap negosiasi yang telah digunakan sejak tahun 1993. (Asiri et al., 2019).

Paradigma masyarakat dalam hal pengelolaan sampah yang sering digunakan hingga saat ini adalah dengan metode kumpul, angkut, dan buang, dimana andalan utama dalam pengelolaan sampah kota adalah pemusnahan dengan *landfilling* pada sebuah Tempat Pemrosesan Akhir (TPA) sampah. TPA ini akan menerima segala resiko akibat pola pembuangan sampah terutama yang berkaitan dengan kemungkinan terjadinya pencemaran lindi (*leachate*) ke badan air maupun air tanah, pencemaran udara oleh gas, dan efek rumah kaca serta berkembang biaknya vektor penyakit seperti lalat (Tchobanoglous, 1993).

Gas *landfill* termasuk kedalam kelompok Gas Rumah Kaca (GRK). Gas *landfill* yang terkumpul dari proses fermentasi anaerobik bahan organik tersebut akan menyebabkan meningkatnya suhu disekitar TPA, menimbulkan bau tidak sedap bahkan dapat memicu terjadinya ledakan gas metana yang terkandung pada gas *landfill*. Bila gas *landfill* dikelola dengan baik, dapat memberikan berbagai keuntungan seperti mengurangi efek gas rumah kaca dan kerusakan lingkungan bahkan dapat dimanfaatkan sebagai sumber bahan bakar alternatif (Garcilasso et al., 2011).

Beberapa gas rumah kaca seperti karbondioksida (CO₂), metana (CH₄), dinitroksida (N₂O), dan chlorofluorocarbon (CFC) memiliki efek rumah kaca lebih besar daripada gas lainnya. Berdasarkan IPCC, metana memiliki efek 20-30 kali lebih besar dibanding dengan karbon dioksida. methana (CH₄)

adalah salah satu dari gas rumah kaca yang terbesar kedua setelah karbondioksida (CO₂) yang potensi pemanasan globalnya 28 kali lebih besar dari CO₂. Dapat dikatakan berdasarkan *IPCC Fourth Assessment Report*, total emisi metana dari emisi gas rumah kaca global adalah 14.3% dan 2.8% berasal dari sampah (*IPCC, 2006*).

Oleh karena itu gas metana yang terbentuk sebaiknya dikonversi menjadi CO₂ dengan jalan membakarnya atau dimanfaatkan sebagai sumber energi baik untuk energi listrik atau untuk bahan bakar. Timbulnya gas metana dapat dianggap sebagai nilai tambah dari sebuah *landfill* (Damanhuri, 2008).

Di antara model-model terintegrasi, pemodelan perangkat lunak *LandGEM (Landfill Gas Emissions Model)* dikembangkan untuk penilaian tempat pembuangan sampah limbah padat lingkungan kota. *LandGEM* memperkirakan volume dan komposisi gas yang dihasilkan sepanjang waktu sebagai konsekuensi dari degradasi bahan organik di TPA (EPA, 2005 dalam Kalantarifard dan Yang, 2012).

Selain model *LandGEM*, kuantifikasi gas rumah kaca yang banyak digunakan yaitu *IPCC 2006 (Intergovernmental Panel on Climate Change)* dari PBB (Perserikatan Bangsa Bangsa). *IPCC 2006* merupakan metode untuk memperkirakan inventarisasi suatu daerah untuk emisi gas rumah kaca dari sumber hingga penyerapannya untuk berbagai sektor termasuk sektor limbah (Chaerul, M et al., 2020). Model *IPCC 2006* memungkinkan penghitungan dengan data terbatas pada pembuangan limbah untuk menghasilkan data emisi gas rumah kaca selama jangka waktu tertentu, Metode ini akan meningkatkan perkiraan emisi metana dari pembuangan limbah padat (Castilo, 2006). Berdasarkan uraian diatas, maka peneliti tertarik untuk melakukan penelitian mengenai **“Potensi Gas Metana TPA Tamangapa Menggunakan Model *LandGEM* dan *IPCC 2006*”**

1.2. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, terdapat beberapa masalah yang dapat dirumuskan yaitu :

1. Bagaimana komposisi dari sampah di TPA Tamangapa Makassar?
2. Berapa lama jangka waktu TPA Tamangapa Makassar dapat beroperasi menampung sampah Kota Makassar?
3. Bagaimana hasil produksi gas metana dari proses pembuangan sampah di TPA Tamangapa Makassar secara *landfilling* dengan menggunakan Model *LandGEM* dan *IPCC 2006*?
4. Bagaimana tingkat akurasi *LandGEM* dan *IPCC 2006*?

1.3. Tujuan Penelitian

Tujuan yang hendak dicapai pada penelitian ini adalah untuk :

1. Menentukan komposisi dari sampah di TPA Tamangapa Makassar.
2. Menganalisis lama jangka waktu TPA Tamangapa Makassar dapat beroperasi menampung sampah Kota Makassar.
3. Menganalisis potensi hasil produksi gas metana dari proses pembuangan sampah di TPA Tamangapa Makassar secara *landfilling* dengan menggunakan Model *LandGEM* dan *IPCC 2006*.
4. Menganalisis tingkat akurasi *LandGEM* dan *IPCC 2006*.

1.4. Batasan Masalah

Beberapa batasan masalah yang perlu diperhatikan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Komposisi sampah yang dianalisis adalah sampah perkotaan di TPA Tamangapa Makassar dari tahun 1993-2021.
2. Data yang tersaji berasal dari data Dinas Lingkungan Hidup (DLH) Kota Makassar yaitu data tahun 2006-2021.
3. Menggunakan *software excel* model *LandGEM* dan model *IPCC 2006*

1.5. Manfaat Penelitian

1. Mengetahui potensi produksi gas metana dari proses pembuangan sampah di TPA Tamangapa Makassar.
2. Mengetahui jangka waktu TPA Tamangapa Makassar dapat beroperasi menampung sampah Kota Makassar.
3. Menjadi bahan informasi untuk penelitian selanjutnya yang kemudian bisa dikembangkan untuk penelitian lebih lanjut.

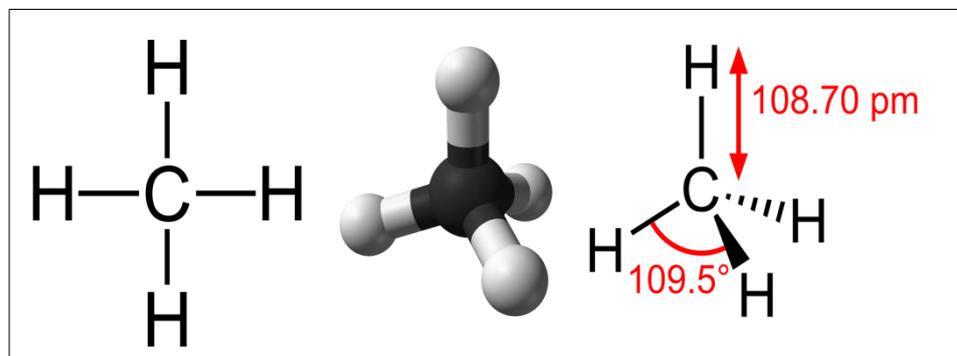
BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Proses Pembentukan Gas Metana

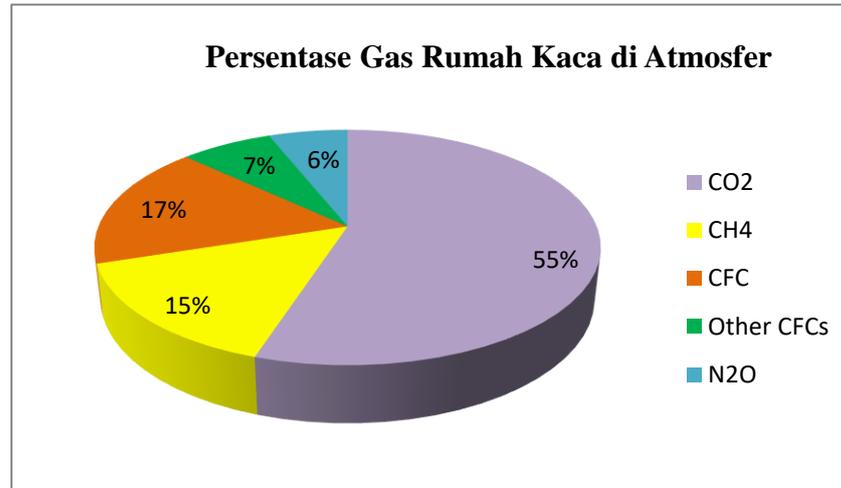
2.1.1. Gas Metana

Gas metana (CH_4) merupakan salah satu dari beberapa efek Gas Rumah Kaca (GRK) yang dihasilkan dari proses penguraian bahan organik oleh bakteri anaerob. Gas metana dihasilkan ketika jenis-jenis mikroorganisme tertentu menguraikan bahan organik pada kondisi tanpa udara (anaerob). Gas ini juga dihasilkan secara alami pada proses pembusukan biomassa, metana memiliki sifat mudah terbakar, dan dapat menghasilkan karbon dioksida sebagai hasil sampingan. Pada suhu ruangan dan tekanan standar, metana adalah gas yang tidak berwarna dan tidak berbau. Metana mempunyai titik didih -161°C pada tekanan 1 atmosfer. Sebagai gas, metana hanya mudah terbakar bila konsentrasinya mencapai 5-15% di udara (Khoirusyi, 2020).



Gambar 2. 1 Ikatan kimia senyawa metana
(Sumber : Wikipedia,2018)

Kontribusi gas rumah kaca terhadap pemanasan global yang terjadi tergantung dari jenis gas yang dihasilkan. Setiap gas rumah kaca yang dihasilkan mempunyai potensi pemanasan global (*Global Warming Potential - GWP*) yang diukur secara relatif berdasarkan emisi CO_2 dengan nilai 1. Makin besar nilai GWP makin bersifat merusak (Sugiyono, 2006).



Gambar 2. 2 Persentase Gas Rumah Kaca di Atmosfer (Trismianto et al., 2008).

Metana diproduksi di dalam tanah sebagai hasil akhir dari dekomposisi bahan organik secara anaerob (tanpa adanya udara). Sebagai komponen utama gas alam, metana adalah sumber bahan bakar utama.

2.1.2. Pembentukan Gas *Landfill*

Pembentukan gas di TPA terjadi dalam kondisi anaerob (tanpa udara). Limbah padat perkotaan yang tersimpan pada saat pertama kali *landfill* akan mengalami tahap dekomposisi aerobik. Kurang dari 1 tahun kondisi anaerob mulai terbentuk dan bakteri penghasil metana mulai menguraikan limbah serta menghasilkan metana. Terbentuknya *Landfill* Gas terjadi melalui empat fase, yaitu (EPA, 2017) :

a. Fase I

Fase pertama dekomposisi, bakteri aerobik hidup dengan mengkonsumsi oksigen sehingga limbah organik terbentuk dari proses pemecahan rantai molekul panjang dari karbohidrat, protein, dan lipid. Produk yang dihasilkan pada fase dekomposisi yaitu karbon dioksida (CO₂). Jumlah oksigen yang dimiliki dapat mempengaruhi lamanya dekomposisi pada fase ini dan dapat terjadi dalam hitungan hari atau bulan.

b. Fase II

Fase kedua terjadi pada saat kondisi anaerob (tanpa adanya udara) dimana oksigen yang ada di TPA telah terpakai. Bakteri mengubah senyawa yang dibentuk oleh bakteri aerob menjadi asam asetat, laktat, asam format dan alkohol seperti metanol dan etanol. Karbon dioksida dan hidrogen merupakan gas produk sampingan dari fase kedua ini.

c. Fase III

Asam organik yang diproduksi pada fase kedua akan dikonsumsi oleh bakteri anaerob, kemudian menghasilkan asam asetat dan asam organik. TPA menjadi lingkungan yang netral dimana bakteri penghasil metana terbentuk dengan mengkonsumsi karbon dioksida dan asetat.

d. Fase IV

Di fase keempat dekomposisi yang terjadi pada saat komposisi dan tingkat produksi *landfill* gas tetap relatif konstan. *Landfill* gas mengandung sekitar 45% sampai 50% karbon dioksida, 50% sampai 55% metana dalam satuan volume, dan 2% sampai 5% gas lainnya seperti sulfida. Lama waktu produksi *landfill* gas biasanya selama 20 tahun pada tingkat yang stabil di fase keempat. Produksi dari gas tersebut dapat berlangsung lebih lama apabila jumlah sampah organik yang terdapat pada limbah terbilang dalam jumlah yang besar.

2.1.3. Pembentukan Gas Metana

Sampah organik dan sampah anorganik merupakan komponen dari sampah. Sampah organik yaitu sampah yang menghasilkan bahan padat dan gas antara lain CO₂, CH₄ dan sebagian kecil H₂S dari hasil penguraian. Hasil lain dari penguraian sampah yaitu berupa asam-asam organik (Nuryani et al. 2003).

Proses degradasi bahan organik menghasilkan gas metana dalam kondisi anaerob (kondisi tanpa udara). Selanjutnya, gas metana yang dihasilkan dapat mengalami berbagai proses, seperti: teroksidasi di permukaan tanah *landfill*, atau dapat ditangkap gas metannya (RAN/RAD-GRK, 2015).

Reaksi kimia pembuatan gas metana melalui 3 tahap, yaitu :

a. Reaksi Hidrolisa / Tahap pelarutan

Pada tahap hidrolisis terjadi pemecahan enzimatis berasal dari bahan yang tidak mudah larut seperti polisakarida, protein, lemak, asam nukleat serta lain- lain menjadi bahan yang mudah larut. Di tahap ini bahan yg tidak mudah larut tersebut diubah menjadi bahan yang larut pada air seperti karbohidrat serta asam lemak. Tahap pelarutan berlangsung di suhu 25°C pada digester (Price dan Cheremisinoff, 1981).

b. Reaksi Asidogenik / Tahap pengasaman

Di tahap ini bakteri yang membuat asam adalah bakteri anaerobik bisa tumbuh serta berkembang pada keadaan asam. Pembentukan asam pada kondisi anaerob sangat penting dalam membentuk gas metana oleh mikroorganisme di proses selanjutnya.

Pada kondisi anaerob produk yg dihasilkan akan menjadi substrat pada pembentukan gas metana oleh bakteri metanogenik. Tahap ini berlangsung di suhu 25°C sampai 30°C pada digester. (Price dan Cheremisinoff, 1981).

c. Reaksi Metanogenik / Tahap Pembentukan

Pada tahap ini, bakteri metanogenik menghasilkan gas metana secara anaerob. Bakteri produsen asam dan gas metana bekerja saling menguntungkan. Bakteri tersebut membentuk keadaan atmosfer yang ideal untuk bakteri penghasil metana, sedangkan bakteri pembentuk gas metan memakai asam yang dihasilkan dari bakteri penghasil asam. Selama 14 hari proses ini berlangsung

dengan suhu 25°C hingga 35°C di pada digester. Proses ini akan menghasilkan 70% CH₄, 30% CO₂, sedikit H₂ serta H₂S (Price dan Cheremisinoff, 1981).

2.2. Sampah

2.2.1. Pengertian Sampah

Sampah artinya bahan yang tersisa serta tidak dikehendaki dalam proses produksi atau hasil buangan dari manusia atau alam (Tchobanoglous dan Kreith, 2002). Sampah ialah bahan yg tidak bernilai atau tidak berharga, artinya barang cacat atau ditolak pada proses produksi (Imam dan Rijaluzzaman, 1994).

Berlandaskan Undang-Undang No. 18 Tahun 2008 tentang Pengelolaan Sampah, yang dimaksud sampah ialah residu kegiatan sehari-hari manusia dan/atau proses alam yang berbentuk padat. Sampah terbagi menjadi 3 jenis yaitu:

- a. Sampah rumah tangga, sampah yang berasal dari kegiatan sehari-hari dalam rumah tangga, tidak termasuk tinja dan sampah spesifik.
Sampah rumah tangga, sampah dari kegiatan sehari-hari dalam rumah tangga, tidak termasuk tinja dan sampah spesifik.
- b. Sampah sejenis rumah tangga, sampah dari tempat komersial, daerah industri, daerah khusus, fasilitas sosial, fasilitas umum , serta fasilitas lainnya.
- c. Sampah khusus, sampah yang memiliki kandungan bahan bahaya beracun, sampah yang timbul dampak bencana, puing bongkaran bangunan, sampah yang secara teknologi belum bisa diolah serta sampah yang muncul secara tidak periodik.

2.2.2. Karakteristik dan Komposisi Sampah

Karakteristik sampah ialah sifat-sifat sampah yang mencakup sifat fisik, kimia, dan biologinya. Karakteristik sampah meliputi karakteristik kimia yaitu *proximate analysis* (kadar air, kadar volatil, kadar *fixed carbon* serta kadar abu), titik lebur abu, nilai kalor sampah dan ratio C/N. Karakteristik biologi mencakup biodegradabilitas komponen organik, bau dan populasi lalat. Karakteristik fisik yaitu berat jenis, kelembapan, ukuran partikel serta distribusi ukuran, *field capacity* serta permeabilitas sampah. (Damanhuri dan Tripadmi, 2004).

Menurut Thcnobanoglous (1993) komposisi sampah dapat dibedakan :

- a. Komposisi fisik, umumnya sampah untuk wilayah perkotaan terdiri dari sisa makanan, kertas, karton, plastik, tekstil, karet, kulit, sampah pekarangan, kayu, kaca, kaleng, logam bukan besi, besi dan debu, mengenai komposisi fisik sampah diharapkan untuk memilih serta menentukan cara pengoperasian setiap peralatan serta fasilitas-fasilitas lainnya dan memperkirakan kelayakan pemanfaatan kembali sumber daya serta energi yang berasal dari sampah.
- b. Komposisi kimia adalah hal yang penting pada evaluasi serta menentukan cara pengolahan dan pemanfaatan sampah. Sampah yang akan dipergunakan sebagai bahan bakar, terdapat empat faktor yang perlu diketahui, seperti analisis perkiraan (kelembaban, bahan volatile, abu dan kadar karbon), titik bakar.

Komposisi sampah di suatu daerah umumnya dibagi menurut kebijakan daerah tersebut, misalnya komposisi bahan dilihat dari komponen bahan-bahan sebagai materi limbah padat pada persentase berat.

Menurut Khoirusyi (2020) komposisi sampah dapat dipengaruhi oleh faktor-faktor sebagai berikut:

a. Sumber limbah padat

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

b. Aktivitas penduduk

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

c. Sistem pengumpulan dan pembuangan yang dipakai

Sistem pengumpulan serta pembuangan yang berbeda berasal dari masing-masing kawasan akan membedakan komposisi limbah padat yang perlu diketahui.

d. Geografi

Daerah satu dengan daerah yang lain sesuai letaknya akan membedakan komposisi limbah padat yang diperoleh, daerah pertanian serta perindustrian akan memiliki komposisi limbah padat yang tidak sinkron.

e. Sosial ekonomi

Karakteristik limbah ini sangat mempengaruhi jumlah timbulan limbah padat suatu daerah termasuk pada adat istiadat, taraf hidup, sikap dan mental serta masyarakatnya.

f. Musim / iklim

Faktor musim/iklim mempengaruhi jumlah timbulan limbah padat, sebagai contoh di Indonesia misalnya saat musim hujan sampah kelihatannya meningkat sebab adanya sampah terbawa oleh air.

g. Teknologi

Dengan kemajuan teknologi maka jumlah timbulan sampah padat ikut meningkat.

h. Waktu

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

2.2.3. Jenis Sampah

Jenis sampah yang ada disekitar kita cukup beraneka ragam, yang berupa sampah rumah tangga, sampah industri, sampah pasar, sampah rumah sakit, sampah pertanian, sampah perkebunan, sampah peternakan, sampah institusi/tempat kerja/sekolah, dan sebagainya.

Berdasarkan asalnya, sampah padat dapat digolongkan menjadi 2 (dua) yaitu sebagai berikut (Sujarwo et al., 2014) :

a. Sampah Organik

Sampah organik merupakan sampah yang dihasilkan dari bahan – bahan hayati yang dapat didegradasi oleh mikroba atau bersifat *biodegradable*. Sampah ini dengan praktis bisa diuraikan melalui proses alami. Sampah rumah tangga sebagian besar tersusun dari bahan organik. Yang termasuk sampah organik, misalnya sampah berasal dapur, sisa-sisa makanan, pembungkus (selain kertas, karet serta plastik), tepung , sayuran, kulit buah, daun serta ranting.

b. Sampah Anorganik

Sampah anorganik merupakan sampah yang berasal dari bahan-bahan nonhayati, baik berupa produk sintetik maupun hasil proses teknologi pengolahan bahan tambang. Sampah anorganik dibedakan menjadi : sampah logam serta produk – produk olahannya, sampah plastik, sampah kertas, sampah kaca serta keramik, sampah detergen. Sebagian besar anorganik tidak bisa diurai oleh alam/mikroorganisme secara keseluruhan

(*unbiodegradable*). Sementara, sebagian lainnya hanya bisa diuraikan dalam waktu yang lama . Sampah jenis ini pada tingkat rumah tangga contohnya botol plastik, botol gelas, tas plastik, dan kaleng.

Berdasarkan keadaan fisiknya sampah dikelompokkan atas :

a. Sampah basah (*garbage*)

Sampah yang termasuk dalam golongan ini ialah sisa – sisa makanan dari rumah tangga yang mempunyai sifat mudah membusuk dan mengandung air sehingga dapat menimbulkan bau tak sedap seperti sayur mayur.

b. Sampah kering (*rubbish*)

Sampah pada golongan ini memang dikelompokkan menjadi dua jenis:

- Golongan sampah tidak lapuk.

Yang termasuk sampah jenis ini tidak akan lapuk secara alami, meskipun telah memakan waktu bertahun-tahun, contohnya kaca dan plastik mika.

- Golongan sampah tak mudah lapuk.

Sampah jenis ini akan lapuk perlahan – lahan secara alami. Sampah jenis ini masih bisa dipisahkan lagi atas sampah yang mudah terbakar, contohnya seperti kertas dan kayu, serta sampah tak mudah lapuk yang tidak bisa terbakar, seperti kaleng dan kawat.

2.3. Tempat Pembuangan Akhir (TPA)

Tempat Pembuangan Akhir (TPA) merupakan salah satu tempat yang digunakan untuk membuang sampah yang sudah mencapai tahap akhir dalam pengelolaan sampah yang dimulai dari pertamakali sampah dihasilkan, dikumpulkan, diangkut, dikelola dan dibuang. TPA adalah tempat pengumpulan sampah yang merupakan lokasi yang harus terisolir secara baik sehingga tidak menyebabkan pengaruh negatif pada lingkungan sekitar TPA.

Sampah perkotaan akan tetap merupakan salah satu persoalan yang rumit yang dihadapi oleh pengelola kota dalam menyediakan sarana dan prasarana perkotaannya. Di samping persoalan bagaimana menyingkirkan sampah secara baik agar kota tersebut menjadi bersih dan tidak mengganggu lingkungan, namun pula bagaimana daerah yang kebetulan terpilih untuk lokasi tempat pembuangan akhir (TPA) tidak mengalami degradasi kualitas lingkungan akibat adanya TPA tersebut. Kegiatan umum yang dilaksanakan di sebuah TPA adalah pengurangan atau penimbunan sampah di lahan yang tersedia (Santoso, Gusmar Dwi. 2018).

Menurut Khoirusyi (2020), secara umum metode pembuangan sampah di TPA dapat diterapkan dengan 3 metode. Berikut metode pembuangan Sampah di TPA :

2.3.1 Pembuangan Sampah secara terbuka (*Open Dumping*)

Dengan metode pembuangan sampah sederhana yakni sampah hanya dihamparkan di TPA tanpa adanya penimbunan dan pengolahan, kemudian TPA tersebut akan ditutup apabila sampah di TPA telah penuh. Metode ini memiliki keunggulan seperti murah dalam pengoperasiannya, akan tetapi metode ini memiliki banyak kekurangan seperti munculnya bau tidak sedap, timbulnya pemandangan yang tidak indah, dapat menimbulkan kebakaran, dapat menimbulkan pencemaran air akibat lindi, serta berkembangnya vektor penyakit di TPA. Berikut ini adalah gambar metode open dumping dapat dilihat pada gambar 2.3



Gambar 2. 3 Metode *Open Dumping*
(Sumber : <https://gosulsei.com>)

2.3.2 Lahan urug terkendali (*Controlled Landfill*)

Dengan metode peningkatan dari metode *open dumping*. Pada metode ini lahan urug terkendali secara periodik sampah yang telah tertimbun ditutup dengan lapisan tanah untuk mengurangi potensi gangguan lingkungan. Kegiatan penimbunan dilakukan secara berkala umumnya 7 hari. Berikut ini adalah gambar metode *controlled landfill* dapat dilihat pada gambar 2.4



Gambar 2. 4 Metode *Controlled Landfill*
(Sumber : <https://detiksumsel.com>)

2.3.3 Lahan Urug Saniter (*Sanitary Landfill*)

Metode ini merupakan metode yang paling tepat diterapkan di Indonesia, dikarenakan sebagian besar sampah di negara ini adalah sampah organik, dengan metode ini pengolahan lindi dapat terkontrol dengan baik. Pada bagian dasar *sanitary landfill* dibangun suatu lapisan kedap air yang dilengkapi pipa pengumpul dan penyalut leachate, serta pipa penyalur gas yang terbentuk dari penguraian sampah organik yang ditimbun. Metode ini memiliki kelemahan yakni memerlukan biaya investasi dan operasional yang tinggi. Berikut ini adalah gambar metode *sanitary landfill* dapat dilihat pada gambar 2.5



Gambar 2. 5 Metode *Sanitary Landfill*
(Sumber : <https://genpi.co.id>)

TPA Tamangapa merupakan tempat pembuangan akhir sampah satu-satunya yang disediakan oleh pemerintah kota Makassar, yang dibangun sejak tahun 1993. TPA ini berlokasi di daerah Tamangapa Kecamatan Manggala Kota Makaasar. Daerah tersebut, merupakan daerah dengan tingkat kepadatan penduduk dikarenakan jaraknya dengan pusat kota hanya 15 Km dari pusat kota Makassar. Luas lahan TPA ini sekitar 14,3 Ha tetapi yang digunakan hanya sekitar 70% atau 10 Ha. Hasil penelitian yang dilakukan oleh Ahmad Zubair dan Haeruddin menunjukkan bahwa konsentrasi sampah organik lebih banyak dibandingkan dengan sampah anorganik. Persentasenya adalah 80,71% merupakan sampah organik dan sisanya 9,23% merupakan sampah anorganik (Zubair, et al., 2013).

Tabel 2.1 Karakteristik timbulan dan komposisi sampah TPA Tamangapa

Komponen Sampah	Komposisi Sampah (%)	Timbulan Sampah (Ton)
Organik	80,71	417,85
Plastik	9,23	47,77
Kertas	7,03	36,38
Kain	0,03	0,13
Kayu	0,17	0,86
Kaca	0,22	1,14
Kaleng/Besi	2,12	10,97
Karet	0,5	2,6
Jumlah	100	517,7

(Sumber : Zubair, et al., 2013)

2.4. Permodelan Gas Metana dengan *LandGEM*

Beberapa model untuk mengetahui produksi metana di tempat pembuangan sampah serta energi yang dihasilkan dari pembakaran metana, umumnya menggunakan persamaan matematis, dan memperhatikan kriteria tertentu sebelum menggunakan program, untuk mencapai hasil yang andal. Hasil tersebut berfungsi untuk menilai potensi emisi GRK (gas rumah kaca) (SILVA, 2012).

Pemodelan perangkat lunak *LandGEM* (*Landfill Gas Emissions Model*) dikembangkan untuk penilaian kawasan pembuangan sampah limbah padat lingkungan kota. *LandGEM* memperkirakan volume serta komposisi gas yang diperoleh sepanjang waktu sebagai konsekuensi berasal degradasi bahan organik pada TPA (EPA, 2005 dalam Kalantarifard dan Yang, 2012).

Data spesifik lokasi TPA digunakan dalam *software LandGEM* untuk memperkirakan emisi atau parameter default jika tidak ada data spesifik lokasi yang tersedia. Tersedia dua set parameter default, default CAA dan default inventaris. Default CAA berdasarkan peraturan federal untuk tempat pembuangan akhir yang ditata oleh *Clean Air Act* (CAA) dan bisa digunakan

untuk menentukan apakah TPA tunduk pada persyaratan pengendalian ini peraturan (Monice, M., 2018).

LandGEM juga berfungsi sebagai alat yang dibutuhkan dalam pengukuran potensi produksi gas yang dapat diperoleh dari website *U.S. Environmental Protection Agency (US-EPA) software* ini telah diakui IPCC (2006) dan USEPA (2005) dalam menghitung produksi gas metana yang dihasilkan oleh TPA. (Khoirusyi, 2020).

Berikut gambar *software LandGEM*:



Gambar 2. 6 *Software LandGEM*
Sumber : US-EPA, 2005

Umumnya diasumsikan 50% metana dan 50% karbon dioksida dengan tambahan unsur-unsur pokok penyerta dari NMOC dan polutan udara lainnya dari gas yang berasal dari TPA dihitung dalam *LandGEM*. Produksi metana ditentukan dengan menggunakan persamaan tingkat dekomposisi orde pertama dan tidak mempengaruhi konsentrasi metana. Akan tetapi, konsentrasi metana akan mempengaruhi perhitungan produksi karbon dioksida (Santiabudi, 2010). Berikut beberapa tipe default *LandGEM* dalam Tabel 2.2.

Tabel 2. 2 Tipe Default *LandGEM*

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

Sumber : US-EPA, 2005

Jenis dan komposisi sampah yang masuk ke TPA merupakan variabel yang dibutuhkan untuk nilai L_0 (Tabel 2.3). Tingginya nilai L_0 berbanding lurus dengan tingginya kandungan selulosa dari sampah. Nilai L_0 yang digunakan dalam persamaan laju dekomposisi orde pertama diukur dalam satuan m^3/Mg .

Tabel 2. 3 Nilai Kapasitas pembentukan Metana Potensial (L_0)

Tipe Default	Tipe Landfill	Nilai $L_0 \left(\frac{m^3}{mg}\right)$
CAA	Konvensional	170
CAA	Daerah Kering	170
Inventory	Konvensional	100
Inventory	Daerah Kering	100
Inventory	Lembab Bioreaktor	96

Sumber : US-EPA, 2005

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

- a. Tahun TPA dibuka
- b. Tahun rencana TPA ditutup
- c. Kapasitas desain pembuangan
- d. Pilihan model perhitungan penutupan
- e. Penentuan parameter model

- f. Jumlah sampah tahunan yang masuk ke TPA sejak tahun pembukaan TPA.

2.5. Permodelan Gas Metana dengan *IPCC 2006*

Model *IPCC 2006* ialah metode yang banyak digunakan beberapa negara atau wilayah karena model ini berisi nilai default, perkiraan dan metode perhitungan untuk mengatasi kurangnya data dengan menggunakan faktor emisi yang sudah ditentukan oleh *IPCC 2006*.

Yang paling utama untuk dikumpulkan ialah data komposisi sampah. Tiap kota maupun negara memiliki karakteristik serta komponen yang berbeda. Berdasarkan *IPCC 2006* komposisi sampah dibagi menjadi sampah dapur atau makanan, kertas dan karton, popok dan pembalut, kayu dan sampah taman, kain dan produk tekstil, karet dan kulit, plastik, logam, gelas, dan lain lain. Komposisi sampah Asia Tenggara berdasarkan default *IPCC* disajikan pada Tabel 2.4.

Tabel 2. 4 Komposisi Sampah Default *IPCC* Wilayah Asia Tenggara

Komponen/Parameter Sampah	%DOC Komposisi Sampah (<i>SouthEast Asia Region</i>)
Makanan	43,5%
Kertas + karton + nappies	12,9%
Kayu	9,9%
Kain + tekstil	2,7%
Karet dan kulit	0,9%
Plastik	7,2%
Logam	3,3%
Gelas	4,0%
Lain-lain	16,3%
Total	100%

(Sumber : *IPCC 2006*)