

Selain karbondioksida, unsur yang berperan besar dalam menyebabkan global warming adalah gas metana. Gas metana yang mempunyai kadar tinggi dapat mengurangi kadar oksigen pada atmosfer bumi sampai sekitar 19,5%. Pada kadar yang lebih tinggi apabila gas metana bercampur dengan udara, dapat menyebabkan kebakaran dan ledakan.

Buku berjudul "Pengukuran Gas Metana Dalam Bingkai Kebijakan Pengelolaan Sampah", ini diproyeksikan menjadi bahan pertimbangan pemerintah pusat maupun daerah dalam membuat kebijakan yang berkaitan dengan upaya perlindungan terhadap lingkungan hidup, terutama dampak gas metana yang ditimbulkan pada landfill yang menjadi penyumbang terbentuknya Gas Rumah Kaca (GRK). Keurgensian buku ini terletak pada kebijakan pengelolaan sampah dalam kaitannya dengan pengaturan timbulan gas dari pengolahan sampah yang belum diatur secara optimal, sehingga dapat berdampak pada pencemaran lingkungan.



Damera Press
Jl. Pagujaten Raya No. 9, Pejaten Timur
Pasar Minggu - Jakarta Selatan
www.damerapress.co.id



PENGUKURAN GAS METANA

Nurul Listiyani | Khenza Athaya Namira Yulianto



PENGUKURAN GAS METANA

DALAM BINGKAI KEBIJAKAN PENGELOLAAN SAMPAH



Dr. Nurul Listiyani, S.H., M.H., C.Me.
Khenza Athaya Namira Yulianto, S.T.

**PENGUKURAN GAS METANA
DALAM BINGKAI KEBIJAKAN
PENGELOLAAN SAMPAH**

PENGUKURAN GAS METANA DALAM BINGKAI KEBIJAKAN PENGELOLAAN SAMPAH

Dr. Nurul Listiyani, S.H., M.H., C.Me.

Khenza Atthaya Namira Yulianto, S.T.



DAMERA PRESS

Judul Buku:

PENGUKURAN GAS METANA DALAM BINGKAI
KEBIJAKAN PENGELOLAAN SAMPAH

Penulis:

Dr. Nurul Listiyani, S.H., M.H., C.Me.
Khenza Atthaya Namira Yulianto, S.T.

Editor:

Dr. Urip Giyono, S.H., M.H.

Desain Sampul:

Sri Murni, S.Si.

Penata Isi:

Pandu Dwinarsa, S.H.

Edisi Pertama: Juli 2023**Jumlah Halaman:**

x + 132 halaman | 15 x 23 cm

Diterbitkan Oleh:

Damera Press

Jl. Pagujaten Raya No 9, Pasar Minggu

Pejaten Timur, Jakarta Selatan

Telp: 081513178398

Email: damerapress@gmail.com

www.damerapress.co.id

ANGGOTA IKAPI**ISBN:**

978-623-8262-35-9

HAK CIPTA DILINDUNGI OLEH UNDANG-UNDANG

Dilarang memperbanyak isi buku ini, baik sebagian maupun seluruhnya dalam bentuk apapun tanpa seizin penerbit.

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah Robbil Alamin, puji dan syukur penulis haturkan kepada Allah SWT, Tuhan penguasa alam. Karena atas berkat Rakhmat dan hidayahNya, penulis diberikan kemudahan untuk menyelesaikan penulisan buku yang berjudul “Pengukuran Gas Metana Dalam Bingkai Kebijakan Pengelolaan Sampah”. Buku ini diproyeksikan menjadi bahan pertimbangan pemerintah pusat maupun daerah dalam membuat kebijakan yang berkaitan dengan upaya perlindungan terhadap lingkungan hidup, terutama dampak gas metana yang ditimbulkan pada *landfill* yang menjadi penyumbang terbentuknya Gas Rumah Kaca (GRK). Keurgensian buku ini terletak pada kebijakan pengelolaan sampah dalam kaitannya dengan pengaturan timbulan gas dari pengolahan sampah yang belum diatur secara optimal, sehingga dapat berdampak pada pencemaran lingkungan.

Penulis berharap agar buku ini dapat bermanfaat untuk berbagai pihak, bagi pemerintah sebagai pemangku kebijakan, bagi akademisi untuk menjadi referensi penelitian lanjutan, maupun pihak lain yang berkepentingan.

Banjarmasin, 2023

Penulis

DAFTAR ISI

| | |
|--|------------|
| KATA PENGANTAR | v |
| DAFTAR ISI | vii |
| BAB I PENYEBAB DAN EFEK | |
| PEMANASAN GLOBAL | 1 |
| A. Penyebab Pemanasan Global | 1 |
| BAB II POTENSI GAS METANA DARI | |
| TIMBUNAN SAMPAH | 7 |
| A. Pengertian, Sumber dan Klasifikasi | |
| Jenis Sampah | 7 |
| B. Komposisi, Karakteristik dan | |
| Timbulan Sampah | 10 |
| 1. Komposisi Sampah | 10 |
| 2. Karakteristik Sampah | 12 |
| 3. Timbulan Sampah | 13 |
| C. Pengertian, Proses Pembentukan dan | |
| Dampak Gas Metana | 16 |
| 1. Pengertian dan Jenis Gas Metana | 16 |
| 2. Proses Pembentukan Gas Metana | 17 |
| 3. Dampak Gas Metana | 19 |

| | | |
|----------------|---|-----------|
| BAB III | TEMPAT PEMROSESAN AKHIR | 21 |
| | A. Pengertian Tempat Pemrosesan Akhir (TPA) | 21 |
| | B. Penentuan Potensi CH ₄ dari Tempat Pemrosesan Akhir | 27 |
| BAB IV | METODE PENGUKURAN GAS METANA | 31 |
| | A. Pemanfaatan Gas Metan | 31 |
| | B. Pengukuran Gas Metan melalui Metode LandGEM | 33 |
| | 1. Parameter Input LandGEM | 33 |
| | 2. Parameter Hasil LandGEM | 36 |
| | C. Perhitungan Gas Metan melalui Metode IPCC | 38 |
| | 1. Pengertian IPCC | 38 |
| | 2. Parameter Utama IPCC | 40 |
| | D. Perbedaan LandGEM dan IPCC | 48 |
| BAB V | PENGOLAHAN SAMPAH PADA TEMPAT PEMROSESAN AKHIR (TPA) | 51 |
| | A. Kondisi Eksisting Pengolahan Sampah TPA Gunung Kupang | 51 |
| | 1. Pengolahan Sampah di TPA Gunung Kupang | 51 |
| | 2. Analisis Material Balance Sampah di TPA Gunung Kupang | 53 |
| | B. Analisis Karakteristik Berupa Timbulan dan Komposisi Sampah di TPA Gunung Kupang | 54 |
| | 1. Timbulan Sampah | 54 |

| | | |
|---------------|---|------------|
| 2. | Komposisi Sampah | 59 |
| 3. | Proyeksi Timbulan Sampah | 64 |
| C. | Estimasi Emisi Gas Rumah Kaca (GRK) dari Penimbunan Sampah (Landfill) dengan Metode LandGEM | 67 |
| 1. | Perhitungan Sisa Masa Layanan TPA Gunung Kupang | 67 |
| 2. | Perhitungan Potensi Gas Metana dengan LandGEM | 72 |
| D. | Estimasi Emisi Gas Rumah Kaca (GRK) dari Penimbunan Sampah (Landfill) dengan Metode IPCC | 81 |
| 1. | Estimasi Emisi Gas Rumah Kaca (GRK) di Landfill Kedua TPA Gunung Kupang | 81 |
| 2. | Estimasi Emisi Gas Rumah Kaca (GRK) di Landfill Pertama TPA Gunung Kupang | 89 |
| E. | Analisis Perbandingan Hasil Estimasi Emisi Gas Rumah Kaca pada LandGEM dan IPCC | 92 |
| 1. | Perbedaan Parameter Input LandGEM dan IPCC | 93 |
| 2. | Perbedaan Pendekatan dan Rumus LandGEM dan IPCC | 97 |
| 3. | Perbedaan Pendekatan dan Rumus LandGEM dan IPCC | 98 |
| BAB VI | KEBIJAKAN PENGELOLAAN SAMPAH .. | 103 |
| A. | Kebijakan | 103 |

| | | |
|----------------|--|------------|
| | B. Kebijakan Pengelolaan Sampah | 108 |
| BAB VII | KEBIJAKAN RENCANA STRATEGIS | |
| | PENGELOLAAN SAMPAH | 113 |
| | A. Penyusunan Rencana Strategis Pengelolaan Sampah | 113 |
| | B. Perumusan Strategi Pengelolaan Sampah .. | 115 |
| | C. Pelaksanaan Strategi Pengelolaan Sampah | 116 |
| | D. Bentuk Kebijakan yang Mendukung Pengelolaan Sampah melalui Pemanfaatan Gas Metana | 118 |
| | DAFTAR PUSTAKA | 121 |
| | BIODATA PENULIS..... | 131 |

BAB I

PENYEBAB DAN EFEK PEMANASAN GLOBAL

A. Penyebab Pemanasan Global

Pemanasan Global adalah kejadian meningkatnya suhu rata-rata atmosfer, laut dan daratan bumi. Peneliti dari *Center for International Forestry Research* (CIFR) menjelaskan bahwa pemanasan global adalah kejadian terperangkapnya radiasi gelombang panjang matahari (gelombang panas atau infra merah) yang dipancarkan ke bumi oleh gas rumah kaca. Gas rumah kaca ini secara alami terdapat di udara (atmosfer). Sedangkan efek rumah kaca adalah istilah yang digunakan untuk panas yang terperangkap di alam atmosfer bumi dan tidak bisa menyebar.

Pemanasan global merupakan suatu fenomena global yang dipicu oleh kegiatan manusia terutama yang berkaitan dengan penggunaan bahan fosil dan kegiatan alih guna lahan. Kegiatan tersebut menghasilkan gas-gas yang semakin lama semakin banyak jumlahnya di atmosfer, terutama gas karbon dioksida (CO₂) melalui proses yang disebut efek rumah kaca. Istilah Efek rumah kaca (*greenhouse effect*) merupakan istilah yang cukup erat kaitannya dengan pemanasan global. Disebut dengan efek rumah kaca karena adanya peningkatan suhu bumi akibat suhu panas yang terjebak di dalam atmosfer bumi. Prosesnya mirip seperti rumah kaca yang

berfungsi untuk menjaga kehangatan suhu tanaman di dalamnya. Peningkatan suhu dalam rumah kaca terjadi karena adanya pantulan sinar matahari oleh benda-benda yang ada di dalam rumah kaca yang terhalang oleh dinding kaca, sehingga udara panas tidak dapat keluar (*greenhouse effect*).

Beberapa penyebab pemanasan global adalah gaya hidup, pola konsumsi dan pertumbuhan penduduk yang tidak teratur, ditambah dengan beragam aktivitas manusia yang adakalanya merusak lingkungan. Berikut ini diuraikan beberapa penyebab adanya pemanasan global

1. Meningkatnya Gas Rumah Kaca

Gas rumah kaca terjadi akibat adanya pembakaran minyak bumi, seperti bahan bakar batu bara serta pembakaran gas alam. sehingga hal tersebut menyebabkan adanya pemanasan yang terpantul tidak diteruskan ke luar angkasa, tetapi kembali lagi ke bumi, dan gas yang paling berpengaruh adalah karbondioksida.

2. Polusi Udara Karena Bahan Bakar

Bahan bakar mesin kendaraan bermotor, seperti mobil, sepeda motor dan kendaraan lainnya menghasilkan gas karbondiosida yang tidak bisa diteruskan keluar angkasa sehingga panas akan mengendap di bumi, sehingga mengakibatkan bumi semakin panas.

3. Efek Rumah Kaca

Efek rumah kaca ini menjadikan panas yang berada di bumi tidak dapat dipantulkan ke luar angkasa, tetapi terperangkap di atmosfer. Sebenarnya efek rumah kaca ini bisa bermanfaat untuk kehidupan manusia, namun, jika berlebihan, maka akan menjadikan efek terhadap iklim dan cuaca yang ada di bumi. Di atas permukaan bumi, efek rumah kaca bisa terjadi karena sebanyak 25% energi matahari yang masuk ke bumi dipantulkan oleh awan atau partikel

lain di atmosfer, 25% diserap awan, 45% diabsorpsi permukaan bumi, dan 5% lainnya dipantulkan kembali oleh permukaan bumi. Energi matahari yang telah diabsorpsi akan dipantulkan kembali dalam bentuk radiasi inframerah oleh awan dan juga permukaan bumi. Namun, energi yang dipantulkan tersebut bisa terhalang oleh karbon dioksida (CO₂) dan gas lainnya yang terdapat di atmosfer bumi. Banyaknya CO₂ di udara menjadi salah satu faktor terjadinya pemanasan global.

Sebenarnya zat CO₂ dibutuhkan dan akan diserap oleh tumbuhan untuk melakukan proses fotosintesis. Akan tetapi, karena semakin menipisnya hutan dan lahan hijau membuat kadar CO₂ di atmosfer tidak terkendali

4. Penggunaan CFC Secara Berlebihan

Chlorofluorocarbon (CFC) adalah suatu bahan kimia yang diproduksi untuk berbagai kebutuhan peralatan rumah tangga seperti AC atau pendingin ruangan dan kulkas. Sekitar tahun 1970 zat-zat kimia seperti (CFC) dan hydrochlorofluorocarbon (HCFC) sudah menyebabkan adanya penipisan lapisan ozon. Zat kimia perusak lapisan ozon ini sangat stabil, sehingga bisa mencapai stratosfer secara utuh. Ketika zat tersebut berada di stratosfer, kemudian zat kimia ini diubah oleh radiasi ultraviolet sinar matahari dan mengeluarkan atom-atom klorin perusak ozon. Setelah lapisan ozon menipis, banyaknya bahaya ultraviolet yang mencapai bumi bertambah antara lain menyebabkan perubahan ekosistem, kanker kulit, dan katarak. Pada zaman sekarang, banyak sekali kebutuhan masyarakat yang harus dipenuhi, dan barang yang dibutuhkan oleh masyarakat tersebut banyak sekali yang menggunakan CFC. Sebagian masyarakat menggunakan CFC dengan jumlah yang banyak, dan hal ini berlangsung selama bertahun-tahun, senyawa-

senyawa kimia tersebut secara luas dipakai untuk pendingin ruangan (AC), media pendingin pada lemari es (kulkas), bahan pelarut, dan proses pembuatan plastik.

5. Penggundulan Hutan

Perusakan hutan akan menyebabkan pemanasan global, karena hutan memiliki fungsi menyerap gas karbondioksida, dan hutan merupakan penghasil oksigen. Semakin banyak terjadinya penebangan liar atau penggundulan hutan maka jumlah karbondioksida akan makin banyak, berkumpul di atmosfer sehingga menyebabkan terjadinya pemanasan global. Kondisi ini mempunyai arti bahwa oksigen di bumi akan semakin berkurang, padahal semua makhluk di bumi memerlukan oksigen, sehingga dapat membahayakan kelangsungan hidup makhluk hidup di bumi. Penggundulan hutan atau deforestasi juga menyebabkan kecepatan perubahan iklim dan menyebabkan hilangnya keanekaragaman hayati. Deforestasi banyak disebabkan karena adanya alih fungsi hutan, misalnya adanya berbagai komoditas pertanian seperti jagung dan kedelai yang memerlukan lahan yang tidak sedikit. Terjadinya deforestasi akan menambah buruk pemanasan global karena hutan sebagai penghasil oksigen dan paru-paru dunia ditebangi dan diganti dengan komoditas pertanian sehingga menyebabkan penipisan lapisan ozon di atmosfer

6. Polusi Metana Karena Peternakan, Pertanian, dan Perkebunan

Selain karbodiokasida, unsur yang berperan besar dalam menyebabkan global warming adalah gas metana. Gas metana yang mempunyai kadar tinggi dapat mengurangi kadar oksigen pada atmosfer bumi sampai sekitar 19,5%. Pada kadar yang lebih tinggi apabila gas metana bercampur dengan udara, dapat menyebabkan kebakaran dan ledakan. Sektor pertanian adalah

salah satu penyumbang gas metana, yaitu berasal dari pakan ternak yang umumnya mengandung gas metana.. Gas metana berasal dari bakteri yang kekurangan oksigen untuk memecah bahan-bahan organik. Gas metana mempunyai dampak terhadap pemanasan global lebih besar dibanding gas karbondioksida.

7. Boros Penggunaan Listrik

Faktor penyebab pemanasan global yang lainnya adalah penggunaan listrik yang boros. Pemborosan listrik membuat cadangan energi listrik menjadi semakin menipis karena energi listrik memerlukan pembakaran batu bara sehingga meningkatkan pemanasan global. Oleh karena itu sebaiknya pemakaian listrik digunakan secara efisien sesuai dengan keperluan agar tidak menyebabkan pemanasan global.

8. Polusi Udara Akibat Industri Pabrik

Pertumbuhan pembangunan industri, disamping memberikan dampak positif, di sisi lain juga memberikan dampak negatif, berupa pencemaran udara dan kebisingan, baik yang terjadi di dalam ruangan (*indoor*) maupun di luar ruangan (*outdoor*) yang dapat membahayakan kesehatan manusia. Industri pabrik menyebabkan banyaknya asap yang dihasilkan, dan dapat mengakibatkan polusi udara yang akan membuat lingkungan tercemar dan terjadinya pemanasan global. Zat yang keluar dari proses industri berupa zat yang berbahaya seperti Karbon Monoksida, Hidrokarbon, dan senyawa lainnya yang dapat membahayakan kesehatan alam dan manusia. Jadi pengoperasian industri berpotensi menimbulkan dampak terhadap penurunan kualitas udara dan peningkatan kebisingan.

9. Sampah Plastik

Menurut penelitian, ketika plastik terkena sinar matahari dan berakibat rusak mengeluarkan gas metana dan etilena. Gas metana alami atau buatan dikatakan

sebagai penyebab utama perubahan iklim, dan hal ini berhubungan dengan peningkatan pemanasan global. Sampah yang setiap hari dihasilkan manusia terutama

sampah-sampah yang tidak bisa didaur ulang seperti *styrofoam* dan plastic juga menjadi sumber lain dari emisi CO₂.

BAB II

POTENSI GAS METANA DARI TIMBUNAN SAMPAH

A. Pengertian, Sumber dan Klasifikasi Jenis Sampah

Menurut Haryanto, sampah dapat didefinisikan sebagai suatu bahan buangan yang dihasilkan dari aktivitas manusia maupun lingkungan dan belum memiliki nilai ekonomis (nilai jual).¹ Sedangkan pengertian sampah menurut WHO adalah sesuatu yang tidak digunakan lagi dan dibuang oleh manusia karena tidak terpakai. Definisi sampah lebih lanjut menurut WHO adalah sampah dihasilkan oleh kegiatan manusia dan tidak dapat terjadi dengan sendirinya. Jumlah penduduk sangat mempengaruhi volume sampah.

Sampah dapat terbagi menjadi dua yaitu sampah organik dan sampah anorganik dimana sampah organik merupakan sampah sangat mudah terurai karena dihasilkan oleh makhluk hidup. Contoh dari sampah organik ini adalah sampah dapur dan sampah dedaunan. Sampah anorganik adalah sampah yang sukar dalam proses penguraiannya bahkan pada beberapa jenis sampah, tidak mampu terurai. Contoh dari sampah anorganik bermacam-macam

¹ Haryanto, B., & Thalib, D. A. (2009). Emisi Metana Dari Fermentasi Enterik: Kontribusinya Secara Nasional Dan Faktor-Faktor Yang Mempengaruhinya Pada Ternak. *Wartazoa*, 19(4), 157–165

dan mudah ditemukan di kehidupan sehari-hari seperti plastik, karet, logam, kertas dan lain-lain.

Sumber sampah dapat terbagi menjadi 5 sumber. Sumber pertama yang akan dibahas yaitu dari pemukiman penduduk. Jenis sampah yang dihasilkan dari pemukiman penduduk cukup beragam namun mayoritasnya adalah sisa makanan dan sampah basah (*garbage*) serta sampah kering (*rubbish*). Selain itu, perabotan rumah tangga dan sisa tumbuhan juga termasuk ke dalam kategori sumber sampah ini. Sumber sampah kedua yaitu dari tempat umum dan tempat perdagangan. Jenis sampah yang dihasilkan dari sumber ini hampir sama dengan sumber sampah pemukiman penduduk. Hanya saja, sampah berbahaya yang membutuhkan penanganan khusus juga termasuk. Sumber sampah ketiga yaitu sarana layanan masyarakat milik pemerintah yang menghasilkan jenis sampah khusus dan sampah kering. Kemudian sumber keempat adalah industri berat dan ringan yang menghasilkan sampah sama seperti sumber tempat umum dan tempat perdagangan. Sumber terakhir berasal dari pertanian yang menghasilkan jenis sampah pertanian pada umumnya².

Klasifikasi jenis sampah dapat dibagi menjadi beberapa jenis yaitu sampah padat, sampah cair dan sampah dalam bentuk gas (*fume, smoke*).³ Namun terdapat pembagian khusus bagi sampah padat yaitu:

1. Berdasarkan zat kimia yang terkandung:
 - a. Sampah anorganik: plastik, kertas, koran, logam-logam dan kaca

² Wahyono, E. H. dan Sudarno.N. 2012. Pengelolaan Sampah Plastik: Aneka Kerajinan dari Sampah Plastik. Yapeka, Bogor.

³ *Ibid*, 7

- b. Sampah organik: sisa makanan, dedaunan dan lain-lain
- 2. Berdasarkan dapat tidaknya dibakar
 - a. Mudah terbakar: kertas, plastik, kain dan kayu
 - b. Sukar terbakar: kaleng, besi dan gelas
- 3. Berdasarkan dapat tidaknya membusuk
 - a. Mudah membusuk: sisa makanan
 - b. Sukar membusuk: plastik, kaca dan kaleng

Sementara itu klasifikasi jenis sampah yang dimuat di dalam UU Nomor 18 Tahun 2008 adalah sebagai berikut:

1. Sampah rumah tangga

Sampah rumah tangga adalah jenis sampah yang berasal dari kegiatan sehari-hari dalam rumah tangga, tidak termasuk tinja dan sampah spesifik.

2. Sampah sejenis rumah tangga

Sampah sejenis rumah tangga adalah sampah yang berasal dari kegiatan sehari-hari dalam rumah tangga, tidak termasuk tinja dan sampah spesifik. Sampah spesifik

Kategori sampah yang termasuk ke dalam jenis sampah spesifik adalah:

- a. Sampah yang mengandung bahan berbahaya dan beracun;
- b. Sampah yang mengandung limbah bahan berbahaya dan beracun;
- c. Sampah yang timbul akibat bencana;
- d. Puing bongkaran bangunan;
- e. Sampah yang secara teknologi belum dapat diolah; dan/atau
- f. Sampah yang timbul secara tidak periodik.

B. Komposisi, Karakteristik dan Timbulan Sampah

1. Komposisi Sampah

Komposisi sampah adalah penggambaran dari masing-masing komponen pada sampah dan distribusinya. Menurut Damanhuri & Padmi⁴, komponen sampah adalah komposisi fisik seperti: kertas, kayu, sisa-sisa makanan, kain/tekstil, plastik, karet, kaca, logam besi maupun non besi, dan lain-lain. Komposisi bahan biasanya dilihat dari komponen bahan-bahan yang menjadi materi limbah padat dalam persentase berat. Bahan-bahan meliputi: sisa makanan, kertas, kardus, tekstil, plastik, karet, debu, kulit, abu dan sampah. Sumber dari limbah padat bisa berasal dari perumahan dan komersial (tanpa limbah berbahaya dan beracun), konstruksi, institusi, dan pengolahan air serta penghancuran pelayanan pemukiman

Faktor-faktor yang mempengaruhi komposisi sampah dikutip dari Khoirusyi⁵ dapat dirincikan sebagai berikut:

- a. Sumber limbah padat: Komposisi limbah padat suatu sumber sampah akan berbeda dari sumber sampah lainnya.
- b. Aktivitas penduduk: Jenis limbah padat yang dihasilkan akan berbeda-beda dikarenakan profesi masing-masing penduduk.
- c. Sistem pengumpulan dan pembuangan yang dipakai: apabila sistem pengumpulan dan pembuangan yang dipakai pada tiap tempat berbeda, maka akan membedakan komposisi limbah padat yang terakumulasi
- d. Geografi: perbedaan daerah seperti antara daerah pertanian, perindustrian dan daerah dekat perairan tentu akan membedakan

⁴ Damanhuri, E., & Padmi, T. (2010). Pengolahan Sampah, Diktat Kuliah. Bandung: Program Studi Teknik Lingkungan FTSL ITB.

⁵ Khoirusyi, Y. (2020). *Potensi Produksi Gas Metana (CH₄) dari Kegiatan Landfilling di TPA Lempeni, Kota Banjarbaru dengan Permodelan LandGEM*, 9

komposisi limbah padat yang dihasilkan.

- e. Sosial ekonomi: karakteristik limbah yang dipengaruhi oleh faktor ini berhubungan dengan adat istiadat, taraf hidup, perilaku serta mental dan masyarakatnya
- f. Musim/iklim: faktor ini mempengaruhi komposisi limbah padat karena apabila pada musim hujan, limbah padat kebanyakan meningkat karena terbawa oleh air
- g. Teknologi: makin meningkatnya kemajuan teknologi, makin banyak pula limbah padat yang dihasilkan. Komposisinya pun beragam bahkan tidak sedikit limbah B3 yang dihasilkan.
- h. Waktu: komposisi limbah padat yang dihasilkan sangat dipengaruhi oleh faktor waktu. Bahkan jumlah timbulan pun dipengaruhi oleh faktor waktu

Menurut dari Khoirusyi⁶ yang mengutip dari Tchobanoglous dkk, komposisi sampah dibagi menjadi dua golongan yaitu:

1. Komposisi Fisik

Komposisi sampah dapat terbagi menjadi beberapa jenis seperti sampah basah (*garbage*), sampah halaman, taman, kertas, kain, karet, kardus, kulit, plastik, kayu, debu, logam, kaca dan lain-lain. Fungsi informasi komposisi fisik sampah diperlukan untuk menentukan metode pengoperasian setiap peralatan serta fasilitas lainnya. Selain itu, komposisi fisik digunakan untuk memanfaatkan kelayakan pemanfaatan sumber daya sampah.

2. Komposisi Kimia

Berdasarkan komposisi kimia, sampah terdiri dari unsur karbon, hidrogen, nitrogen, oksigen, sulfur, serta unsur- unsur lain

⁶ Khoirusyi, Y. (2020). *Potensi Produksi Gas Metana (CH₄) dari Kegiatan Landfilling di TPA Lempeni, Kota Banjarbaru dengan Permodelan LandGEM.*

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

Komposisi sampah dapat ditentukan berdasarkan penimbangan komponen-komponen sampel sampah yang dipilah dari 1 m³ sampel tanpa reduksi volume sampel dengan frekuensi ideal dilakukan selama 8 hari berturut-turut. Pengambilan sampel dapat dilakukan dua kali setiap musim untuk mewakili komposisi sampah hari kerja dan akhir apabila terdapat keterbatasan waktu dan sumberdaya (Kementrian Lingkungan Hidup, 2012).

2. Karakteristik Sampah

Karakteristik sampah merupakan sifat-sifat fisik, kimia dan biologi sampah dan dibagi menjadi 3 karakteristik sesuai sifatnya. Karakteristik sampah diuji untuk menentukan fasilitas pengolahan, perencanaan fasilitas pembuangan akhir dan pemerkiraan kelayakan pengolahan kembali sampah. Karakteristik sampah berdasar sifatnya yaitu: karakteristik fisik, kimia dan biologi

Karakteristik fisik terdiri dari kadar air, berat jenis dan ukuran partikel serta distribusinya dan permeabilitas buangan kompaksi. Berat jenis adalah berat material per satuan volume. Nilai berat jenis bisa berbeda tiap tahunnya karena dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti lokasi geografis, lama waktu penyimpanan dan musim

tiap tahun. Berat jenis sampah yang terukur akan tergantung pada sarana pengumpul dan pengangkut wadah yang digunakan.⁷

Karakteristik fisik yang kedua yaitu kadar air yang dapat dibagi menjadi dua metode yaitu metode berat kering untuk menyatakan persentase dari berat kering bahan dan metode berat basah untuk mengukur kelembapan dalam sampel yang mana juga dinyatakan dalam persentase berat basah bahan. Kandungan air yang terdapat pada sampah adalah pengertian dari kadar air. Pada pengelolaan limbah padat, metode berat basah adalah yang paling banyak digunakan⁸.

Karakteristik kimia terdiri dari beberapa analisis yaitu *proximate analysis* dan *ultimate analysis*. *Proximate analysis* terdiri dari kadar air (*moisture*), *volatile combustible matter* (tambahan kehilangan berat pada pembakaran di 950°C dalam wadah tertutup), *fixed carbon* dan abu. *Ultimate analysis* terdiri dari pengukuran kadar karbon, hidrogen, oksigen, fosfor dan sulfur. Hasil analisis akhir dari *Ultimate analysis* digunakan untuk menentukan campuran yang tepat dalam bahan limbah sesuai dengan C/N ratio untuk proses konversi biologis dan juga digunakan untuk penandaan komposisi kimia dari materi organik pada limbah padat. Namun sebenarnya karakteristik kimia juga mencakup pengukuran titik lebur dan kadar energi.⁹

3. Timbulan Sampah

Timbulan sampah adalah banyaknya sampah yang timbul dari kegiatan masyarakat dengan satuan volume dan berat kapita perhari,

⁷ Damanhuri, E., & Padi, T. (2010). Pengolahan Sampah, Diktat Kuliah. Bandung: Program Studi Teknik Lingkungan FTSL ITB.

⁸ Khoirusy, Y. (2020). *Potensi Produksi Gas Metana (CH₄) dari Kegiatan Landfilling di TPA Lempeni, Kota Banjarbaru dengan Permodelan LandGEM*.

⁹ *Ibid*, 15

atau perpanjangan jalan dan perluasan bangunan (SNI 19-2454-2002). Besar timbulan sampah dinyatakan dengan satuan kg dan apabila dalam satuan volume, maka akan dinyatakan dalam satuan L. Besar timbulan sampah berdasarkan sumber memiliki volume/berat yang berbeda tiap komponen sumber dan dapat dilihat pada tabel di bawah ini:

Tabel 2.1 Timbulan Sampah

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

Antara satu daerah dan daerah lainnya pasti memiliki volume timbulan sampah yang berbeda. Hal ini disebabkan oleh perbedaan tingkat konsumsi masyarakat. Namun volume sampah yang dihasilkan oleh kota-kota besar di Indonesia tidak memiliki perbedaan yang jauh karena kecenderungan konsumsi masyarakat yang tinggi. Selain itu rata-rata timbulan sampah akan bervariasi dikarenakan oleh beberapa faktor yang berbeda, antara lain yaitu jumlah penduduk dan tingkat pertumbuhannya, musim, pola hidup, mobilitas penduduk, dan cara penanganan makanan.¹⁰

Dikutip dari Khoirusyi¹¹ yang menambahkan dari Damanhuri dkk.,¹² metode pengukuran timbulan sampah yang dihasilkan dari

¹⁰ Damanhuri, E., & Padi, T. (2010). *Pengolahan Sampah*, Diktat Kuliah. Bandung: Program Studi Teknik Lingkungan FTSL ITB.

¹¹ Khoirusyi, Y. (2020). *Potensi Produksi Gas Metana (CH₄) dari Kegiatan Landfilling di TPA Lempeni, Kota Banjarbaru dengan Permodelan LandGEM*.

¹² Kurniasari, O., Damanhuri, E., Padi, T., & Kardena, E. (2014). Tanah penutup landfill menggunakan sampah lama sebagai media oksidasi metana untuk

kota dengan survey langsung ke lapangan terbagi menjadi beberapa yaitu:

- a. Pengukuran langsung satuan timbulan sampah dari sampel khusus rumah tangga dan non rumah tangga selama 8 hari secara random proporsional (SNI 19-3964-1995). Sampel pertama tidak dimasukkan ke dalam data dan hanya untuk uji coba.
- b. *Load-Count Analysis* yaitu pengukuran jumlah berupa berat dan volume sampah yang masuk ke TPS selama 8 hari berturut-turut. Pelacakan jumlah dan jenis penghasil sampah dari suatu alat pengumpul sampah, akan diperoleh sampah perekivalensi penduduk.
- c. *Weight-Volume Analysis* yang menyediakan jembatan timbang di TPA sehingga jumlah timbulan sampah dari waktu ke waktu dapat diketahui. Apabila tidak tersedia, maka pendataan volume truk yang masuk dapat digunakan sebagai alternatif pengukuran lain. Kemudian akan digunakan informasi densitas sampah di truk, maka diperoleh berat sampah harian yang masuk ke TPA.
- d. *Material-Balance Analysis* adalah analisis yang dilakukan dengan meneliti aliran bahan baku, aliran bahan hilang dalam sistem dan aliran bahan yang menjadi sampah dari suatu sistem. Selain itu, aliran bahan yang menjadi sampah dari sebuah sistem yang ditentukan batas-batasnya perlu dianalisa dan diperhitungkan juga agar mendapat jumlah timbulan sampah yang tepat.

mengurangi emisi gas metana. *Jurnal Bumi Lestari*, 1, 46–52.

C. Pengertian, Proses Pembentukan dan Dampak Gas Metana

1. Pengertian dan Jenis Gas Metana

Metana adalah gas rumah kaca yang dihasilkan dari proses penguraian bahan organik oleh bakteri anaerob. Peningkatan gas metana di atmosfer pertama kali diteliti pada tahun 1980-an¹³. Peningkatan dari gas metana sendiri sudah mencapai 5 – 10 ppb pertahun.¹⁴

Karakteristik dari metana secara umum yaitu mudah terbakar serta dapat menghasilkan karbondioksida sebagai hasil sampingan. Pada suhu ruangan dan tekanan standar, gas metana tidak berbau dan tidak berwarna. Apabila bau metana dibuat dari sengaja demi alasan keamanan, biasanya dihasilkan dari penambahan odoran. Titik didih gas metana yaitu -161°C pada tekanan 1 atmosfer. Metana berbentuk cair tidak akan terbakar kecuali diberi tekanan tinggi, dan hanya pada konsentrasi 5-15% di udara saja barulah metana mudah terbakar.¹⁵

Menurut Whitman dkk.¹⁶ sumber dari metana sendiri cukup beragam dan biasanya diproduksi di dalam tanah sebagai hasil akhir dari dekomposisi bahan organik secara anaerob. Lahan basah, laut, pertanian, penggunaan bahan bakar fosil, pembakaran biomassa dan yang terutama yaitu penimbunan sampah merupakan

¹³ Whalen, S.C. (2005) Biogeochemistry of Methane Exchange between Natural Wetlands and the Atmosphere. *Environmental Engineering Science*, 22, 73-94.

¹⁴ Reay, D. S., Smith, P., Christensen, T. R., James, R. H., & Clark, H. (2018). Methane and global environmental change. In *Annual Review of Environment and Resources* (Vol. 43).

¹⁵ Khoirusyi, Y. (2020). *Potensi Produksi Gas Metana (CH₄) dari Kegiatan Landfilling di TPA Lempeni, Kota Banjarbaru dengan Permodelan LandGEM*.

¹⁶ Whitman, D., Isacks, B.L., Chatelain, J., Chiu, J. and Perez, A. (1992). Attenuation of high-frequency seismic waves beneath the central Andean plateau. *Journal of Geophysical Research*, 97

beberapa sumber pencemar metana.¹⁷ Penggunaan bahan bakar fosil yang merupakan salah satu sumber dihasilkannya metana dapat mengakibatkan dampak besar bagi perubahan iklim dan pencemaran udara.¹⁸ Metana berdasarkan sumbernya sendiri dapat dikelompokkan menjadi 3 kategori yaitu metana biogenik, termogenik dan pirogenik.¹⁹ Metana biogenik adalah metana yang dihasilkan dari proses biologis (misal pertanian, lahan basah dan peternakan). Metana termogenik dan pirogenik biasanya diproduksi melalui proses fisik dan kimia (Ulumuddin, 2019). Sebelumnya metana termogenik yang mendominasi emisi gas metana global, namun sekarang metana jenis biogenik kini menjadi salah satu penyebab terbesar emisi metana global, terutama pada sektor pertanian dan peternakan. Meski begitu, bukan berarti lahan basah tidak menjadi penyebab makin besarnya kadar emisi gas metana pada atmosfer sekarang ini. Emisi gas metan yang dihasilkan dari TPA diperkirakan mencapai 3 – 19 persen sumber antropogenik di dunia.²⁰

2. Proses Pembentukan Gas Metana

Sampah yang dibuang ke TPA biasanya terdiri atas komponen sampah organik dan anorganik. Sampah organik akan terurai atau mengalami proses yang disebut dengan dekomposisi dan

¹⁷ Milich, L. (1999). The role of methane in global warming: Where might mitigation strategies be focused? *Global Environmental Change*, 9(3), 179–201.

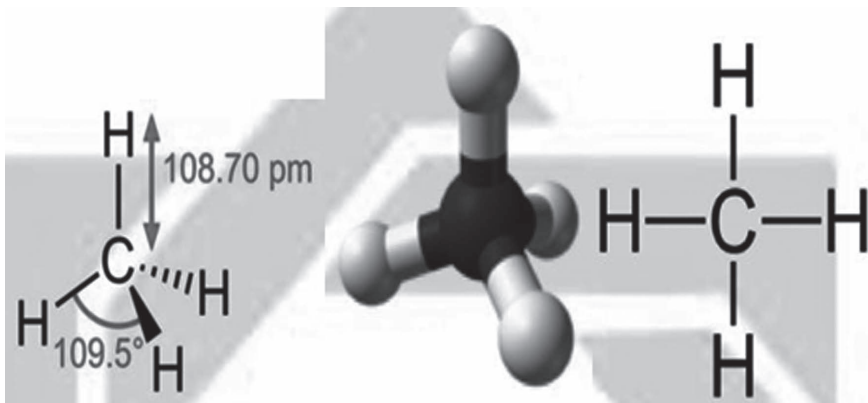
¹⁸ Firdausy, M. A., Mizwar, A., Khair, R. M., Nirtha, R. I., & Hamatha, N. (2020). Perbandingan Emisi Gas Buang Yang Dihasilkan Pada Penerapan Biodiesel Di Pt Adaro Indonesia. *Jukung (Jurnal Teknik Lingkungan)*, 6(2), 147–156

¹⁹ Kirschke, S., Bousquet, P., Ciais, P. dkk. Three decades of global methane sources and sinks. *Nature Geosci* 6, 813–823 (2013).

²⁰ Oktafayanza, F., Mahyudin, R. P., & Firmansyah, M. (2021). Studi Estimasi Emisi Gas Rumah Kaca Pada Pengelolaan Sampah Di Tpa Gunung Kupang Banjarbaru Kalimantan Selatan. *Media Ilmiah Teknik Lingkungan*, 6(2), 65–73.

menghasilkan bahan padat dan gas dengan urutan CO₂, CH₄, dan hanya sedikit H₂S. Hasil lainnya yaitu berupa asam-asam organik.²¹

Degradasi bahan organik dalam kondisi anaerob akan memproduksi gas metana. Proses yang dialami gas metan di antara lain adalah: teroksidasi di permukaan tanah landfill atau penangkapan gas metannya. Penangkapan gas metan dapat berupa pemanfaatan energi ataupun hanya sebagai bahan untuk dibakar (flaring) (RAN/RAD-GRK, 2015).



Gambar 2.1 Ikatan kimia senyawa metana

Reaksi pembentukan metana terbagi menjadi 3 tahap:

a. Reaksi Hidrolisis/Tahap pelarutan:

Terjadi pemecahan bahan tidak mudah larut seperti polisakarida, protein, lemak, asam nukleat dan lain-lain secara *enzimatis* pada tahap ini menjadi bahan terlarut, temperatur pada tahap ini yaitu sekitar 25°C.

b. Reaksi Asidogenik/Tahap pengasaman:

Asam dihasilkan oleh bakteri *anaerob* di dalam getser sebagai

²¹ Nuryani S, dkk. (2003). Jurnal Ilmu Tanah dan Lingkungan, UGM Yogyakarta

bahan pembentukan metana dengan temperatur berkisar antara 25°C – 30°C.

- c. Reaksi Metanogenik/Tahap pembentukan gas metan: Gas metan terbentuk oleh bakteri metanogenik secara *anaerob* selama 14 hari. Temperatur pada tahap ini yaitu dari 25°C – 35°C. Selain itu, produk yang dihasilkan yaitu CH₄ sekitar 70%, kemudian kadar CO₂ sebesar 30%, dan sedikit H₂ serta H₂S sebagai produk sampingan.

3. Dampak Gas Metana

Dampak gas metana yang mempunyai kadar tinggi dapat mengurangi kadar oksigen pada atmosfer bumi sampai sekitar 19,5%. Pada kadar yang lebih tinggi apabila gas metana bercampur dengan udara, dapat menyebabkan kebakaran dan ledakan. Gas metana mempunyai dampak terhadap pemanasan global lebih besar dibanding gas karbondioksida. *Human Society International* menyatakan bahwa dalam jangka waktu 20 tahun, metana memiliki angka GWP (Global Warming Potential) setidaknya 25 kali lipat dibanding karbondioksida. Artinya, gas metana yang dihasilkan oleh kegiatan hasil peternakan memiliki dampak yang lebih signifikan dibanding gas karbondioksida yang dihasilkan dari proses pembakaran bahan bakar fosil. Peningkatan suhu akibat gas rumah kaca berupa metana akan menyebabkan gagal panen pula.²²

Selain itu, metana berdampak pada kesehatan manusia. *Asfiksia* menjadi salah satu dampak gas metana dimana konsentrasi oksigen di udara berkurang hingga di bawah 16% volume. Kebanyakan toleransi manusia dan hewan hanya padatingkat itu, sehingga tidak hanya manusia saja yang dibahayakan oleh metana, melainkan

²² Mulyani, A. S. (2021). Pemanasan Global, Penyebab, Dampak dan Antisipasinya. *Artikel Pengabdian Masyarakat*, 1–27.

mahluk hidup lain. Dampak lain pada orang yang terkena paparan gas metana ini akan merasakan gejala sakit kepala dan jantung lebih cepat. Pada tingkat lebih lanjut, masalah seperti mudah lupa, pusing, penglihatan kabur, mudah lesu dan gelisah menjadi dampak yang ditimbulkan metana.²³

²³ *Ibid*, 20

BAB III

TEMPAT

PEMROSESAN AKHIR

A. Pengertian Tempat Pemrosesan Akhir (TPA)

Pengertian dari Tempat Pemrosesan Akhir (TPA) adalah tempat yang berkapasitas besar dan merupakan tempat yang digunakan untuk pembuangan akhir sampah dalam jumlah sangat besar dari beberapa pembuangan sampah sementara.²⁴ Selain itu, pengertian dari Tempat Pemrosesan Akhir (TPA) yaitu suatu tempat yang digunakan untuk pembuangan sampah tahap akhir dalam pengelolaan sampah dengan urutan proses pertama kali sampah dihasilkan, kemudian proses pengumpulan, pengangkutan, pengelolaan dan pada akhirnya dibuang. Menurut Prabowo dkk²⁵, sampah akan mencapai tahap akhir dalam pengelolaannya apabila di TPA. Mengutip dari Mahyudin²⁶, pengelolaan sampah selama ini hanya terfokus pada petugas pemerintah yang melakukan pengolahannya dengan urutan dari sumber sampah menuju ke TPS dan berakhir di TPA. Padahal apabila TPA masih menggunakan

²⁴ Muhyidin, M. (2009). *Analisis Keruangan Tempat Pemrosesan Akhir (Tpa) Putri Cempo Kota Surakarta*.

²⁵ Prabowo, S., Pranoto, & Budiastuti, S. (2019). Estimasi Emisi Gas Rumah Kaca Yang Dihasilkan Dari Tempat Pemrosesan Akhir (TPA) Di Jawa Tengah. *Bioeksperimen*, 5(1), 21–33.

²⁶ Mahyudin, Rizqi Putri. (2014). Issn 1978-8096. *EnviroScienteeae*, 10, 80–87.

sistem open dumping, dapat dipastikan akan menimbulkan pencemaran tanah, air dan udara.²⁷

Sementara berdasarkan Undang-Undang No. 18 tahun 2008, pengelolaan sampah adalah kegiatan sistematis, menyeluruh, dan berkesinambungan yang meliputi pengurangan dan penanganan sampah. Sektor persampahan menyumbang Gas Rumah Kaca (GRK) dalam bentuk gas metana 21 kali lebih besar daripada gas karbondioksida. Hal ini bisa menyebabkan pemanasan global yang lebih parah (Rini dkk., 2020). TPA mempunyai prosedur tersendiri dimana lokasinya merupakan tempat yang terisolir dan sudah memenuhi standar berupa penyediaan fasilitas dan penerapan prosedur yang tepat, sehingga tidak menyebabkan dampak maupun resiko pada lingkungan sekitar TPA yang bersangkutan.²⁸

Dikutip dari Mahyudin²⁹, pengelolaan sampah kota di seluruh Indonesia menjadi masalah aktual dengan meningkatnya jumlah sampah di Indonesia disebabkan beberapa faktor, salah satu faktor terbesarnya yaitu peningkatan jumlah penduduk. Rata-rata permasalahan pengelolaan sampah di Indonesia disebabkan oleh beberapa faktor yaitu kurangnya dasar hukum yang tegas, kurangnya usaha dalam melakukan pengomposan, tempat pembuangan sampah yang tidak memadai dan kurangnya sistem pengelolaan di tempat pembuangan sampah tersebut.³⁰ Disebutkan ada 4 aspek yang perlu diperhatikan dalam rangka menentukan teknologi pengolahan

²⁷ Mahyudin, Rizqi Puteri. (2017). Kajian Permasalahan Pengelolaan Sampah Dan Dampak. *Teknik Lingkungan*, 3, 3(1), 66–74.

²⁸ Khoirusyi, Y. (2020). *Potensi Produksi Gas Metana (CH₄) dari Kegiatan Landfilling di TPA Lempeni, Kota Banjarbaru dengan Permodelan LandGEM*.

²⁹ *Ibid*, 2

³⁰ *Ibid*, 4

sampah yaitu aspek sosial, ekonomi, lingkungan dan aspek teknis³¹.

Proses pengelolaan sampah secara lengkap menurut Khoirusy³² dapat dirincikan sebagai berikut:

- a. **Pewadahan sampah:** merupakan tahap awal proses pengelolaan sampah dimana sampah ditempatkan dalam suatu wadah/ tempat agar tidak mencemari lingkungan. Selain itu untuk kepentingan estetika, sampah diharapkan tidak berserakan dan kebersihan lingkungan dapat terjaga. Pewadahan dapat bersifat individual maupun komunal.
- b. **Pengumpulan sampah:** proses ini merupakan proses pengambilan sampah dari wadahnya pada tiap sumber. Pengumpulan sampah biasanya dilakukan oleh petugas yang berwenang baik dari pemerintah daerah maupun dari pihak swasta dan petugas dari lingkungan masyarakat. Proses selanjutnya yang disiapkan untuk sampah tersebut yaitu proses pemindahan/pengangkutan ke lokasi pengelolaan atau pembuangan akhir. Pola pengumpulan terdiri dari dua pola yaitu pola individual dan pola komunal, sama seperti pola pewadahan. Pengumpulan individual adalah pengumpulan yang mana petugas mengunjungi masing-masing rumah, toko maupun kantor dan menggunakan truk atau gerobak dalam prosesnya. Sementara pengumpulan komunal (pengumpulan sementara) berupa wadah dari sampah yang terdapat di tiap rumah-rumah dan alat pengangkutnya berupa gerobak. Pengumpulan sampah pada jalan besar dilakukan oleh petugas Dinas Kebersihan.

³¹ Amurwaraharja, I.P. 2003. Analisis Teknologi Pengolahan Sampah dengan Proses Hirarki Analitik dan Metoda Valuasi Kontingensi (Studi Kasus di Jakarta Timur). Tesis. Institut Pertanian Bogor.

³² *Ibid*, 25.

- c. Pемindahan sampah: proses pемindahan seperti namanya merupakan proses pемindahan sampah ke dalam peralatan pемangkut. Lokasi tempat berlangsungnya proses pемindahan dikenal dengan Tempat Pемbuangan Sementara (TPS). Pada TPS juga biasanya dilakukan kegiatan pемomposan.
- d. Pемangkutan sampah: proses pемangkutan dari lokasi awal sampah dihasilkan menuju ke Tempat Pемrosesan Akhir (TPA)
- e. Pемelolaan dan pemanfaatan sampah: pada proses pемelolaan ini, mencakup mulai dari proses pемewadahan sampai dengan proses pемolahan sebelum dilakukan pемbuanganakhir
- f. Pемbuangan akhir sampah: proses terakhir dalam siklus pемelolaan persampahan dimana pada proses ini bertempat di Tempat Pемrosesan Akhir (TPA) yang membutuhkan ruang atau tempat luas dan diisyaratkan jauh dari tempat pемukiman penduduk. Metode pемbuangan yang paling banyak digunakan yaitu *open dumping*, *controlled landfill* dan *sanitary landfill*.
- g. Metode *open dumping* menurut Khoirusyi³³ adalah metode membuang sampah pada Tempat Pемrosesan Akhir secara terbuka di suatu lokasi. *Controlled landfill* memiliki tata cara dan pengertian yang hampir mirip dengan *open dumping*, hanya saja disini terdapat proses pемawasan serta pемendalian yang lebih tertata. Selain itu menurut Khoirusyi³⁴, *controlled landfill* menggunakan lapisan tanah sebagai penutup untuk mengurangi potensi gangguan lingkungan. Metode *sanitary landfill* yaitu proses pемbuangan sampah pada tempat pемbuangan sampah akhir dengan pемimbunan sampah tersebut ke dalam

³³ *Ibid*, 21

³⁴ *Ibid*, 22

tanah hingga periode waktu yang ditentukan sehingga polusi dan bau bisa diminimalisir. *Sanitary landfill* juga memiliki keuntungan yaitu pengolahan lindi yang lebih terkontrol. Mengutip dari Khoirusy³⁵ yang mendapatkan data dari SLHI, pengelolaan sampah di Indonesia masih menggunakan metode penimbunan sampah terbuka (*open dumping*). Metode ini terbukti mengakibatkan pencemaran padalingkungan. Tempat Pemrosesan Akhir (TPA) yang menggunakan metode Landfill (penimbunan sampah) baik *Controlled Landfill* maupun *Sanitary Landfill* hanya sekitar 10%. Hal ini mengakibatkan makin tingginya tingkat pencemaran lingkungan karena metode pengelolaan sampah di Tempat Pemrosesan Akhir (TPA) tidak tepat guna dan tidak memperhatikan aspek lingkungan.



Gambar 2.2 Metode Open Dumping

³⁵ *Ibid*, 22



Gambar 2.3 Metode Controlled Landfill



Gambar 2.4 Metode Sanitary Landfill

Proses landfill sendiri dapat dijelaskan dengan langkah awal yaitu proses penimbunan sampah, kemudian dilanjutkan dengan penumpukan sampah yang diratakan atau disebarakan merata dan dipadatkan menjadi lapisan tipis. Prosesterakhir yaitu penutupan pada sampah yang sudah diratakan agar menghasilkan gas metana.

Tempat Pemrosesan Akhir sebenarnya memiliki manfaat yang banyak apabila mampu dikelola dengan benar. Potensi pengolahan yang dapat menghasilkan sesuatu di TPA yaitu gas metana, pengomposan dan pemanfaatan sampah. Konteks pemanfaatan sampah ini merupakan cara pengkonversian nilai sampah yang sebelumnya tidak berguna menjadi sesuatu bernilai jual seperti kerajinan.

B. Penentuan Potensi CH₄ dari Tempat Pemrosesan Akhir

Potensi metana dari limbah yang dibuang di tempat pembuangan sampah tergantung dari komposisi MSW (*Municipal Solid Waste*), operasi dari lokasi pembuangan dan kondisi lingkungan. Potensi CH₄ sendiri dapat ditentukan melalui *sampling* baik di laboratorium maupun di kondisi lapangan. Namun perbedaan yang paling mencolok dari data laboratorium dan data lapangan adalah kelembapan, ukuran partikel bahkan temperatur yang tidak sama. Sebagian besar percobaan laboratorium pun digunakan untuk menguji teknik-teknik dalam peningkatan produksi CH₄.

Dikutip dari Khoirusy³⁶, pada beberapa penelitian, BMP (*Biochemical Methane Potential*) dari Landfill MSW menyarankan bahwa pengelolaan potensi metana perlu dilakukan agar kinerja lingkungan dari landfill selama fase operasional dapat dimaksimalkan dan peningkatan stabilisasi limbah padat. Stabilisasi

³⁶ *Ibid*, 27

limbah padat perlu ditingkatkan untuk membantu mereduksi emisi CH₄ (Caecedo- Concha dkk., 2019).

Pembentukan metana di tempat pembuangan sampah membutuhkan pertimbangan faktor yang sangat banyak. Beberapa di antaranya adalah potensi biogas, komposisi & variasi limbah dari waktu ke waktu, iklim serta operasional, kondisi manajemen lingkungan, dan terakhir yaitu tingkat pembuangan limbah di TPA. Maka dari itu, estimasi pembentukan metana tidak bisa sembarangan dilakukan tanpa adanya perencanaan yang matang

Dalam memperkirakan gas hasil produksi TPA yang menggunakan metode *landfill*, ada beberapa alat yang digunakan yaitu *Landfill Gas Emission* (LandGEM) dan IPCC. Model yang paling umum digunakan yaitu hasil pemodelan menggunakan aplikasi LandGEM karena hampir semua gas yang berada pada TPA dan merupakan hasil dari proses *Landfill*, bisa dianalisis dengan akurat. Faktor-faktor yang berpengaruh pada dua alat ini yaitu faktor waktu dari degradasi proses seperti fraksi karbon, pH, temperatur, kelembapan & komposisi limbah, serta faktor koreksi metana untuk perhitungan manajemen spesifik lokasi dan kondisi operasional lainnya.

Berdasarkan kutipan dari Monice³⁷, ada beberapa proses untuk mengonversi gas metan menjadi energi alternatif dari proses *landfill*:

1. *Combustion* (pembakaran)

Pembakaran adalah teknologi yang paling umum dan paling sering digunakan dalam mengkonversikan gas *landfill* terutama

³⁷ Monice, P. (2018). Analisis Pemanfaatan Energi Dari Pengolahan Metode *Landfill* Di Tempat Pemrosesan Akhir Muara Fajar. <http://jurnal.umsb.ac.id/index.php/RANGTEKNIKJOURNAL> Vol. 1 No.2 , 216-220.

metana. Menurut Saputro³⁸, pembakaran limbah organik berupa padi juga dapat menghasilkan gas metana. Meski begitu, gas metana yang dihasilkan dari proses pembakaran limbah disarankan untuk proses selanjutnya yaitu pemurnian (purifikasi). Namun perlu diperhatikan, pembakaran dapat menghasilkan kerugian dalam hal emisi gas yang merusak lingkungan apabila tidak ditangani secara tepat. Apabila dilakukan dengan tepat, metana yang dikonversi menjadi karbon dioksida dapat mengurangi potensi dampak gas rumah kaca secara signifikan. Teknologi pembakaran yang bisa digunakan juga bermacam-macam yaitu *flare*, insinerator, boiler, turbin gas dan mesin pembakaran dalam yang secara termal menghancurkan senyawa dalam gas landfill, lebih 98% senyawa organik bisa dihancurkan.³⁹

Pengkonversian gas metan menjadi karbondioksida dapat dilakukan dengan proses pembakaran. Disebutkan bahwa gas metan memiliki nilai GWP (*Global Warming Potential*) lebih tinggi 21 kali dari karbondioksida, menjadikan gas karbondioksida lebih aman dari metana meskipun masih menjadi salah satu penghasil Gas Rumah Kaca (GRK). Pembakaran gas metan menjadi karbondioksida dapat dilakukan dengan dua metode yaitu yang pertama dengan model *flaring* dimana gas metan dibakar keluar dari pipa yang dipasang pada tempat penimbunan sampah. Metode kedua yaitu metode *Waste to Energy* (WtE) dengan penggunaan gas metan sebagai bahan bakar untuk memasak. Prosesnya yaitu dengan cara pengambilan energi panas dari gas untuk membangkitkan listrik.⁴⁰

³⁸ Saputro, Y. (2020). Pengoperasian Alat Produksi Metana dari Pembakaran Limbah Kulit Padi. *Accurate: Journal of Mechanical Engineering and Science*, 1(1), 35–40

³⁹ *Ibid*, 40

⁴⁰ Kustiasih, T., Setyawati, L. M., Anggraeni, F., Darwati, S., & Aryenti, A.

2. Teknologi *non-combustion*

Teknologi *non-combustion* adalah alternatif untuk teknologi pembakaran, yang menghasilkan senyawa penghasil kontribusi terhadap asap, termasuk sulfur oksida, nitrogen oksida dan bahkan karbon monoksida. Teknologi *non-combustion* terbagi menjadi dua kelompok yaitu yang pertama teknologi pemulihan energi dan kedua konversi gas ke produk teknologi.

Proses konversi gas metana menjadi listrik diawali dengan sumur pengumpul yang bertujuan untuk memisahkan air dan gas metan dengan menggunakan sistem adsorpsi. Gas kemudian dialirkan menuju stasiun sistem pembakaran internal. Gas metan diterima oleh mesin yang dibakardengan bantuan oksidan di wadah pembakarannya. Ekspansi suhu tinggi dan gas tekanan tinggi diproduksi untuk gaya mesinnya. Gaya mesin akan menggerakkan piston, *nozzle* atau bilah turbin. Sebanyak 40% gas metan dari fraksi organik landfill diasumsikan tertampung, dialirkan dan dibakar untuk menghasilkan listrik.⁴¹

(2017). Faktor Penentu Emisi Gas Rumah Kaca dalam Pengelolaan Sampah Perkotaan. *Jurnal Permukiman*, 9(2), 78–90.

41 Aye, L. and Widjaya, E.R. (2006) Environmental and economic analyses of waste disposal options for traditional markets in Indonesia. *Waste Management*, 26, 1180-1191.

BAB IV

METODE PENGUKURAN GAS METANA

A. Pemanfaatan Gas Metan

Gas metan memiliki banyak potensi pemanfaatan sebagai energi. Salah satu contohnya adalah TPA di Indonesia yang sudah banyak mengaplikasikan pemanfaatan gas metan menjadi biogas. Biogas merupakan gas yang terbentuk dari proses anaerobik dan biasanya bersumber dari hasil kotoran binatang, tanaman, serta limbah aktivitas manusia yang mengandung gas metana dan karbon dioksida dengan masing-masing kadar sebesar 50-70% dan 20-40%.⁴² Biogas sebagai pengganti gas LPG sudah mulai dikembangkan dengan perencanaan yang matang agar tidak menya-nyiakan potensi gas metana dari sumbernya, salah satunya yaitu proses pengelolaan sampah berupa landfill. Fungsi biogas yang cukup banyak menjadikan biogas menjadi salah satu energi alternatif terbarukan dan berkelanjutan yang teknologinya banyak dikembangkan saat ini.⁴³ Lebih lanjut, penangkapan metana dan pengubahan biogas menjadi energi menawarkan salah satu alternatif bagi industri untuk menghasilkan energi terbarukan

⁴² Firdausy, M. A. (2016). Produksi Biogas Dari Campuran Eceng Gondok (*Eichornia Crassipes*) Dan Kotoran Ayam. *Tesis*, 1-156.

⁴³ *Ibid*, 35

menggunakan emisi berbahaya yang dapat menyebabkan dampak bagi lingkungan. Bahkan sudah banyak pula pemanfaatan gas metan menjadi energi listrik baik dengan teknologi modern maupun teknologi konvensional.⁴⁴

Menurut Wijono,⁴⁵ bahan baku pembuatan biogas cukup beragam seperti sampah biomassa, kotoran manusia, sampah biodegradable bahkan limbah domestik. Pemanfaatan gas metana menjadi pupuk kompos maupun biogas bisa dengan menggunakan sistem kolam dimana dinilai lebih ekonomis namun 70% total emisi gas rumah kaca disumbang dari pelepasan gas metan yang terjadi saat penguraian zat organik di kolam anaerobik. Gas metan pada proses ini akan langsung dilepaskan ke atmosfer dan menambah konsentrasi gas rumah kaca. Sistem kolam yang digunakan yaitu kolam lemak (*fat pit*), kolam pendinginan (*cool pond*), kolam anaerobik (*anaerobic pond*) dan kolam aerobik (*aerobic pond*) yang memiliki fungsinya masing-masing.⁴⁶

Biogas yang memiliki gas metan bisa dipakai untuk penghasil bahan bakar *burner*/boiler alternatif sehingga dapat menggantikan penggunaan cangkang dan serat. Kemudian listrik yang dihasilkan dari gas metana dapat digunakan untuk genset yang menunjang kebutuhan pabrik sehingga biaya BBM dapat diminimalisir. Selain itu, listrik yang dihasilkan dapat dijual ke pihak PLN untuk penambahan budget perusahaan/pihak yang bersangkutan.⁴⁷

⁴⁴ Wijono, A. (2017). Dampak Pengurangan Emisi Gas Rumah Kaca. *Jurnal Sains Dan Teknologi*, November, 1–9.

⁴⁵ *Ibid*, 2

⁴⁶ *Ibid*, 4

⁴⁷ *Ibid*, 5

B. Pengukuran Gas Metan melalui Metode LandGEM

1. Parameter input LandGEM

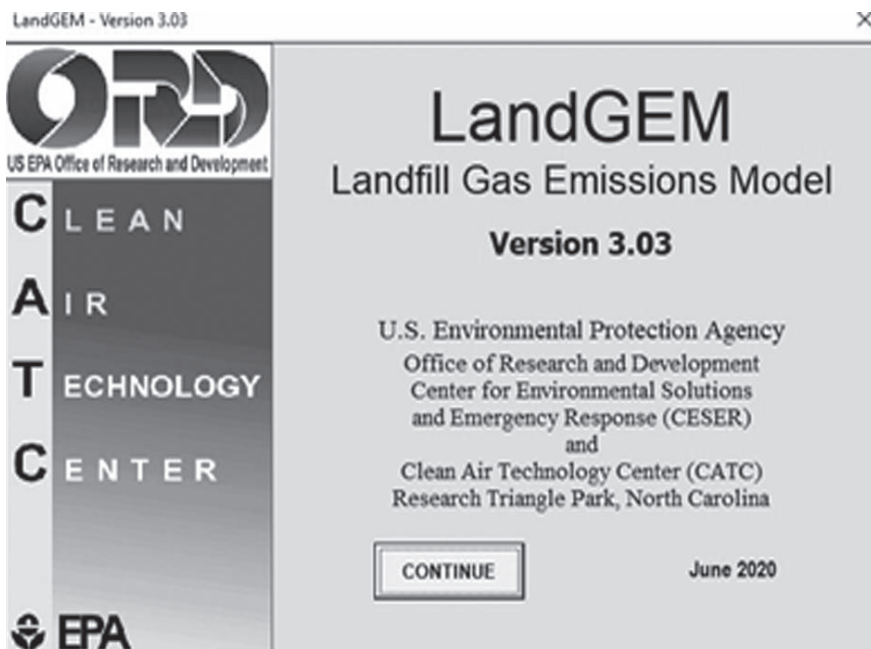
Emisi Gas Rumah Kaca yang semakin meningkat *berimpact* pada banyaknya penelitian yang mengambil topik tentang desain model untuk memperkirakan kadar produksi gas dari landfill (LFG). Dalam melakukan permodelan, faktor lokal seperti komposisi sampah dan cara penanggulangan sampah/limbah pada masing-masing daerah menjadi hal yang perlu diperhatikan. Sebenarnya ada banyak metode yang bisa digunakan untuk menganalisis kadar metana seperti eksperimen lapangan bahkan perhitungan matematika.

LandGEM merupakan kependekan dari *LandFill Gas Emission Model* yang merupakan alat untuk mengestimasi hampir semua Landfill Gas (LFG) seperti metana, karbon dioksida, polutan udara individu dan senyawa organik non metana. Alat ini menggunakan antarmuka microsoft excel dan data spesifik lokasi untuk memperkirakan emisi. Apabila tidak tersedia data spesifik lokasi, maka akan digunakan parameter default. LandGEM menggunakan dua parameter default yaitu *CAA defaults* yang mampu untuk mengestimasi perkiraan emisi yang sederhana dan *inventory defaults* yang mampu menghasilkan emisi rata-rata serta untuk memperoleh perkiraan emisi yang tidak terdapat data uji spesifik lapangan.⁴⁸

LandGEM juga dapat digunakan sebagai alat pengukur potensi produksi gas dimana tipe LandGEM-303 sudah memiliki fungsi tersebut dan dapat diperoleh dari *website U.S. Environmental Protection Agency (US-EPA)*. Software tersebut telah diakui IPCC (2006) dan US EPA (2005) dalam perhitungan produksi gas metana yang dihasilkan

⁴⁸ Monice, P. (2018). Analisis Pemanfaatan Energi Dari Pengolahan Metode Landfill Di Tempat Pemrosesan Akhir Muara Fajar. <http://jurnal.umsb.ac.id/index.php/RANGTEKNIKJOURNAL> Vol. I No.2 , 216-220.

TPA. Asumsi yang dihitung menggunakan *software* LandGEM adalah 50% metana dan 50% karbondioksida dengan tambahan unsur-unsur pokok penyerta dari NMOC dan polutan udara lainnya. Persamaan tingkat dekomposisi orde pertama digunakan untuk perhitungan produksi metana dan tidak mempengaruhi konsentrasi metana. Akan tetapi perhitungan karbon dioksida akan dipengaruhi oleh konsentrasi metana.⁴⁹ Berikut gambar dari *software* LandGEM



Gambar 2.5 Software LandGEM

Kemudian disini akan dijelaskan mengenai parameter input pada LandGEM yang diperlukan beserta tabelnya. Tabel-tabel sendiri terdiri dari Nilai Defaut K pada LandGEM kemudian ada nilai default Lo. Selain itu, dijelaskan pula tentang seluruh parameter inputnya.

⁴⁹ *Ibid*, 28

| Type Default | Type Landfill | Nilai K ($\frac{1}{\text{tahun}}$) |
|------------------|-------------------|--------------------------------------|
| CAA | Konvensional | 0,05 |
| CAA | Daerah Kering | 0,02 |
| <i>Inventory</i> | Konvensional | 0,04 |
| <i>Inventory</i> | Daerah Kering | 0,02 |
| <i>Inventory</i> | Lembab Bioreaktor | 0,7 |

Tabel 2.2 Nilai Default K pada LandGEM

Nilai L_0 bergantung pada jenis dan komposisi sampah yang masuk ke dalam TPA. Satuan yang dipakai pada nilai L_0 untuk menentukan persamaan laju dekomposisi orde pertama adalah m^3/Mg . Diketahui apabila kandungan selulosa dari sampah semakin tinggi, maka semakin tinggi pula nilai L_0 .

| Type Default | Type Landfill | Nilai L_0 ($\frac{m^3}{mg}$) |
|------------------|-------------------|----------------------------------|
| CAA | Konvensional | 170 |
| CAA | Daerah Kering | 170 |
| <i>Inventory</i> | Konvensional | 100 |
| <i>Inventory</i> | Daerah Kering | 100 |
| <i>Inventory</i> | Lembab Bioreaktor | 96 |

Tabel 2.3 Nilai Default L_0 pada LandGEM

Input data yang diperlukan oleh aplikasi permodelan LandGEM antara lain yaitu:

- a. Tahun landfill TPA dibuka dan tahun rencana landfill TPA ditutup. Apabila sudah ada *closure year*, tidak diperlukan kapasitas desain pembuangan. Apabila belum ada, maka diperlukan perhitungan kapasitas desain pembuangan (terbatas hanya untuk 80 tahun).
- b. Kapasitas desain pembuangan (optional)

- c. Pilihan model perhitungan penutupan
- d. Penentuan parameter model
- e. Jumlah sampah tahunan yang masuk ke TPA. LandGEM mengikuti persamaan laju dekomposisi orde pertama. Hal ini digunakan untuk memperkirakan emisi tahunan pada periode waktu yang ditentukan.

2. Parameter hasil LandGEM

Dikutip dari software LandGEM itu sendiri, parameter hasil pada LandGEM terdiri menjadi polutan udara utama seperti total landfill gas, metana, karbon dioksida dan NMOC. Selain itu, ada 46 polutan udara lain pada LandGEM yang menjadi hasilnya seperti dirincikan pada tabel di bawah ini:

Tabel 2.4 Parameter Hasil LandGEM

| | <i>Compound</i> | <i>Concentration (ppmv)</i> | <i>Molecular Weight</i> | <i>Notes</i> |
|--------------|---------------------------|-----------------------------|-------------------------|--------------|
| Gases | <i>Total landfill gas</i> | | 30.03 | |
| | <i>Methane</i> | | 16.04 | |
| | <i>Carbon dioxide</i> | | 44.01 | |
| | <i>NMOC</i> | 4,000 | 86.18 | |

| Pollutants | Compound | Concentration (ppmv) | Molecular Weight | Notes |
|------------|---|--|------------------|--------|
| | | <i>1, 1, 1-Trichloroethane (methyl chloroform) - HAP</i> | 0.48 | 133.41 |
| | <i>1, 1, 2, 2-Tetrachloroethane - HAP/ VOC</i> | 1.1 | 167.85 | A, B |
| | <i>1, 1-Dichloroethane (ethylidene dichloride) - HAP/ VOC</i> | 2.4 | 98.97 | A, B |
| | <i>1, 1-Dichloroethene (vinylidene chloride) - HAP/ VOC</i> | 0.20 | 96.94 | A, B |
| | <i>1, 2-Dichloroethane (ethylene dichloride) - HAP/ VOC</i> | 0.41 | 98.96 | A, B |
| | <i>1, 2-Dichloropropane (propylene dichloride) - HAP/ VOC</i> | 0.18 | 112.99 | A, B |
| | <i>2-Propanol (isopropyl alcohol) - VOC</i> | 50 | 60.11 | B |
| | <i>Acetone</i> | 7.0 | 58.08 | |
| | <i>Acrylonitrile - HAP/ VOC</i> | 6.3 | 53.06 | A, B |
| | <i>Benzene - No or Unknown Co-disposal - HAP/ VOC</i> | 1.9 | 78.11 | A, B |
| | <i>Benzene - Co-disposal - HAP/ VOC</i> | 11 | 78.11 | A, B |
| | <i>Bromodichloromethane - VOC</i> | 3.1 | 163.83 | B |
| | <i>Butane - VOC</i> | 5.0 | 58.12 | B |
| | <i>Carbon disulfide - HAP/ VOC</i> | 0.58 | 76.13 | A, B |
| | <i>Carbon monoxide</i> | 140 | 28.01 | |
| | <i>Carbon tetrachloride - HAP/ VOC</i> | 4.0E-03 | 153.84 | A, B |
| | <i>Carbonyl sulfide - HAP/ VOC</i> | 0.49 | 60.07 | A, B |
| | <i>Chlorobenzene - HAP/ VOC</i> | 0.25 | 112.56 | A, B |
| | <i>Chlorodifluoromethane</i> | 1.3 | 86.47 | |
| | <i>Chloroethane (ethyl chloride) - HAP/ VOC</i> | 1.3 | 64.52 | A, B |
| | <i>Chloroform - HAP/ VOC</i> | 0.03 | 119.39 | A, B |
| | <i>Chloromethane - VOC</i> | 1.2 | 50.49 | B |
| | <i>Dichlorobenzene - (HAP for para isomer/ VOC)</i> | 0.21 | 147 | B, C |
| | <i>Dichlorodifluoromethane</i> | 16 | 120.91 | |
| | <i>Dichlorofluoromethane - VOC</i> | 2.6 | 102.92 | B |
| | <i>Dichloromethane (methylene chloride) - HAP</i> | 14 | 84.94 | A |
| | <i>Dimethyl sulfide (methyl sulfide) - VOC</i> | 7.8 | 62.13 | B |
| | <i>Ethane</i> | 890 | 30.07 | |
| | <i>Ethanol - VOC</i> | 27 | 46.08 | B |
| | <i>Ethyl mercaptan (ethanethiol) - VOC</i> | 2.3 | 62.13 | B |
| | <i>Ethylbenzene - HAP/ VOC</i> | 4.6 | 106.16 | A, B |
| | <i>Ethylene dibromide - HAP/ VOC</i> | 1.0E-03 | 187.88 | A, B |
| | <i>Fluorotrichloromethane - VOC</i> | 0.76 | 137.38 | B |
| | <i>Hexane - HAP/ VOC</i> | 6.6 | 86.18 | A, B |
| | <i>Hydrogen sulfide</i> | 36 | 34.08 | |
| | <i>Mercury (total) - HAP</i> | 2.9E-04 | 200.61 | A |
| | <i>Methyl ethyl ketone - HAP/ VOC</i> | 7.1 | 72.11 | A, B |
| | <i>Methyl isobutyl ketone - HAP/ VOC</i> | 1.9 | 100.16 | A, B |

| Compound | Concentration (ppmv) | Molecular Weight | Notes |
|---|----------------------|------------------|-------|
| Methyl mercaptan - VOC | 2.5 | 48.11 | B |
| Pentane - VOC | 3.3 | 72.15 | B |
| Perchloroethylene (tetrachloroethylene) - HAP | 3.7 | 165.83 | A |
| Propane - VOC | 11 | 44.09 | B |
| <i>t</i> -1,2-Dichloroethene - VOC | 2.8 | 96.94 | B |
| Toluene - No or Unknown Co-disposal - HAP/VOC | 39 | 92.13 | A, B |
| Toluene - Co-disposal - HAP/VOC | 170 | 92.13 | A, B |
| Trichloroethylene (trichloroethene) - HAP/VOC | 2.8 | 131.40 | A, B |
| Vinyl chloride - HAP/VOC | 7.3 | 62.50 | A, B |
| Xylenes - HAP/VOC | 12 | 106.16 | A, B |

Keterangan:

- 1) Polutan udara berbahaya (HAP) tercantum dalam Judul III Amandemen Undang-Undang Udara Bersih 1990.
- 2) Dianggap sebagai senyawa organik volatil (VOC), sebagaimana didefinisikan oleh EPA AS.
- 3) Uji sumber tidak menunjukkan apakah senyawa ini adalah isomer para atau orto-ortomer. Para- isomer adalah HAP yang terdaftar di Judul III.

C. Perhitungan Gas Metana Melalui Metode IPCC

1. Pengertian IPCC

Model IPCC (2006) adalah metode yang dapat diterapkan untuk semua wilayah. Pada pedoman yang tercantum, terdapat nilai *default*, perkiraan, dan metode perhitungan untuk mengatasi kurangnya data dengan menggunakan faktor emisi dimana semua ini sudah ditentukan oleh IPCC.⁵⁰ Secara umumnya, IPCC yang memiliki kepanjangan *Intergovernmental Panel on Climate Change*

⁵⁰ *Ibid*, 32

adalah sebuah metode yang banyak digunakan Perserikatan Bangsa-Bangsa (PBB) dalam kuantifikasi gas rumah kaca. Selain itu, IPCC dapat digunakan untuk mengestimasi inventarisasi emisi antropogenik gas rumah kaca dari sumber hingga penyerapannya dari suatu negara/wilayah pada berbagai sektor terutama sektor persampahan.⁵¹

Terdapat 3 *Tier* yang digunakan dalam metode IPCC 2006, yaitu *Tier 1* dengan metode *First Order Decay* (FOD) untuk data aktivitas dan faktor emisi yang menggunakan angka *default*. Kemudian *Tier 2* yang menggunakan metode FOD dihitung berdasarkan data aktivitas yang lebih akurat yaitu berdasarkan data 10 tahun terakhir atau lebih, meski masih ada yang menggunakan angka *default* salah satunya adalah FE. Terakhir yaitu *Tier 3* yang digunakan dengan didasari data paling akurat di antara dua *tier* sebelumnya dan telah menggunakan *country specific*, dengan parameter kunci yang telah dikembangkan secara nasional dan FE *local*⁵². *Tier 3* hanya terdapat pada beberapa negara yang mampu menyediakan nilai *country specific* dan telah mendukung penyediaan *Tier 3*. Pada industri peternakan, *Tier 3* IPCC hanya dapat digunakan untuk inventarisasi nasional ketika semua faktor modulasi emisi CH₄ enterik dan pupuk kandang diketahui dan dapat diperhitungkan. Selain itu, *Tier 3* IPCC membutuhkan deskripsi yang lengkap dan akurat, termasuk khususnya faktor konversi energi yang digunakan untuk memperkirakan kebutuhan energi hewan.⁵³ FE sendiri

⁵¹ Herlintama, S. A. (2022). *TUGAS AKHIR Estimasi Emisi Gas Rumah Kaca Pada Pengelolaan Sampah di TPA Basirih Banjarmasin*. 9.

⁵² *Ibid*, 32

⁵³ Eugène, M., Sauvant, D., Nozière, P., Viallard, D., Oueslati, K., Lherm, M., Mathias, E., & Doreau, M. (2019). A new *Tier 3* method to calculate methane emission inventory for ruminants. *Journal of Environmental Management*, 23(1) 982–988.

merupakan kependekan dari faktor emisi dimana Indonesia belum memiliki faktor emisi yang spesifik sehingga untuk perhitungan yang memerlukan faktor emisi akan menggunakan faktor emisi yang ditentukan oleh IPCC.⁵⁴ Pada penelitian ini digunakan *Tier 2* dimana terdapat asumsi bahwa komponen organik yang dapat terdegradasi (DOC) di dalam sampah akan meluruh secara perlahan selama beberapa dekade, dimana disini proses pembentukan CH₄ berjalan. Hal ini mengakibatkan emisi CH₄ akan menurun karena karbon yang terdegradasi dikonsumsi oleh bakteri pengurai sampah.⁵⁵

2. Parameter utama IPCC

Beberapa faktor dan parameter utama yang diperlukan dalam perhitungan menggunakan metode IPCC adalah sebagai berikut:

a. DOC (*Degradable Organic Carbon*)

Dikutip dari Jaisyullah,⁵⁶ DOC adalah karakteristik dari sampah yang menentukan seberapa besar gas metana dapat terproduksi dari proses degradasi sampah. Komposisi (% berat) dan *dry matter content* (kandungan berat kering) merupakan faktor yang mempengaruhi besarnya DOC pada masing-masing komponen sampah. Terdapat 11 komponen sampah berdasarkan IPCC GL⁵⁷ yaitu:

- 1) Sampah makanan
- 2) Sampah taman dan kebun
- 3) Sampah kertas dan kardus

⁵⁴ Herlintama, S. A. (2022). *TUGAS AKHIR Estimasi Emisi Gas Rumah Kaca Pada Pengelolaan Sampah di TPA Basirih Banjarmasin*. 5.

⁵⁵ *Ibid*, 9

⁵⁶ Jaisyullah, U. A. (2017). Program Pengelolaan Emisi Gas Rumah Kaca Di TPA Benowo. Tugas Akhir. 12

⁵⁷ IPCC. (2006). IPCC 2006 Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme, Eggleston H.S., Buendia L., Miwa K., Ngara T. And Tanabe K. IGES: Japan.

- 4) Sampah karet dan kulit
- 5) Sampah kayu
- 6) Sampah logam
- 7) Sampah kaca
- 8) Sampah tekstil
- 9) Sampah nappies
- 10) Sampah plastik
- 11) Sampah lainnya

Nilai default DOC berdasarkan masing-masing komposisi sampah dapat dideskripsikan pada tabel berikut:

Tabel 2.5 Nilai Default DOC berdasarkan komposisi sampah

| Komposisi | DOC (%) | |
|-----------------|---------|---------|
| | Default | Rentang |
| Sisa makanan | 15 | 8-20 |
| Daun/Tanaman | 20 | 18-22 |
| Kayu | 43 | 39-46 |
| Plastik | - | - |
| Kertas | 40 | 36-45 |
| Logam | - | - |
| Karet/kulit | 39 | 39 |
| Kaca atau gelas | - | - |
| Tekstil | 24 | 20-40 |
| Nappies | 24 | 18-32 |
| B3 | - | - |
| Lain-lain | - | - |

Kemudian ada data komposisi sampah *default* IPCC wilayah Asia Tenggara. Karena sampah memiliki karakteristik dan komponen yang berbeda tiap kota maupun tiap negara satu dengan yang lainnya, maka wilayah Asia Tenggara menjadi pilihan untuk pendeskripsian komposisi sampah *default* IPCC. Data dapat dilihat pada tabel di bawah ini

Tabel 2.6 Komposisi Sampah Default IPCC
Wilayah Asia Tenggara

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

Kemudian besarnya nilai DOC per komponen disajikan pada tabel di bawah ini:

Tabel 2.7 Nilai DOC Per Komponen

| Komponen/Parameter Sampah | % DOC Komposisi Sampah (South East Asia Region) |
|----------------------------------|--|
| Food Waste | 0,15 |
| Garden | 0,2 |
| Paper | 0,4 |
| Wood | 0,43 |
| Textile | 0,24 |
| Disposal Nappies | 0,24 |

Tabel 2.8 IPCC *Climate Zone definition*

| Climate Zone | MAT | MAP | MAP/PET |
|-----------------------------|------------|------------|----------------|
| Temperatur kering | 0 – 20°C | - | <1 |
| Temperatur basah | 0 – 20°C | - | >1 |
| <i>Dry tropical</i> | >20°C | <1000 mm | - |
| Temperatur basah dan lembab | >20°C | >1000 mm | - |

b. *Dry Matter Content* (Kandungan Bahan Kering Sampah)

Kandungan Bahan Kering Sampah dapat didefinisikan sebagai fraksi (%) berat kering dari suatu komponen atau komposisi sampah basah. *Dry Matter Content* dapat dihitung melalui rasio berat kering terhadap berat basah komponen sampah tersebut.⁵⁸ Metode untuk menghitungnya yaitu melalui pendekatan *gravimetry* dimana hanya digunakan untuk masing-masing komponen sampah yang dianggap memiliki kandungan air. Penentuan kandungan bahan kering dilakukan untuk komponen sampah yang tidak memiliki komposisi plastik, gelas, dan logam (dikutip dari IPCC GL⁵⁹, *default dry matter content* dari 3 komponen sampah tersebut adalah sebesar 100%).

c. Fraksi DOC Terdekomposisi (DOCf)

Perkiraan fraksi karbon yang akhirnya terdegradasi dan dilepaskan dari TPA merupakan pengertian dari fraksi karbon organik terdegradasi yang terurai (DOCf). Nilai default yang disarankan dengan asumsi kondisi lingkungan adalah anaerobik

⁵⁸ Herlintama, S. A. (2022). *TUGAS AKHIR Estimasi Emisi Gas Rumah Kaca Pada Pengelolaan Sampah di TPA Basirih Banjarmasin*. 11.

⁵⁹ IPCC. (2006). IPCC 2006 Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme, Eggleston H.S., Buendia L., Miwa K., Ngara T. And Tanabe K. IGES: Japan.

untuk DOCf adalah sebesar 0,5. Menurut Prabowo dkk.,⁶⁰ tidak seluruh senyawa karbon organik pada sampah dapat terdegradasi pada kondisi anaerob baik secara cepat maupun lambat.

d. Faktor Koreksi CH₄ (Metana) MCF

Methane Correction Factor (MCF) atau bisa disebut dengan Faktor Koreksi CH₄ (Metana) merupakan nilai yang berfungsi untuk pendeskripsian tingkat dan karakteristik dari suatu TPA.⁶¹ Berdasarkan IPCC,⁶² pengoperasian TPA diklasifikasikan sebagai berikut yaitu: tidak terkategori yaitu TPA liar atau tidak terkontrol; tidak terkelola dengan baik – kedalaman > 5 m (TPA yang tidak terkelola dengan baik dan memiliki kedalaman lebih dari 5 m; tidak terkelola dengan baik – kedalaman < 5 m (TPA yang tidak terkelola dengan baik dan memiliki kedalaman kurang dari 5 m; terkelola dengan baik-anaerob yaitu TPA yang memiliki sistem penempatan sampah yang baik (sel khusus), kontrol terhadap pemulung, dilakukan penutupan secara rutin dengan tanah penutup, dan kompaksi secara mekanis. Terakhir yaitu jenis TPA terkelola dengan baik semi-aerob yaitu TPA yang memiliki sistem penempatan yang baik (sel khusus), tanah penutup permeabel, sistem penyaluran lindi, struktur pondasi, dan sistem ventilasi.⁶³ Penjelasan terkait MCF dan nilainya dapat dilihat pada tabel di bawah ini:

⁶⁰ Prabowo, S., Pranoto, & Budiastuti, S. (2019). Estimasi Emisi Gas Rumah Kaca Yang Dihasilkan Dari Tempat Pemrosesan Akhir (TPA) Di Jawa Tengah. *Bioeksperimen*, 5(1), 21–33.

⁶¹ *Ibid*, 38

⁶² IPCC. (2006). IPCC 2006 Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme, Eggleston H.S., Buendia L., Miwa K., Ngara T. And Tanabe K. IGES: Japan.

⁶³ Herlintama, S. A. (2022). *TUGAS AKHIR Estimasi Emisi Gas Rumah Kaca Pada Pengelolaan Sampah di TPA Basirih Banjarmasin*. 1-105.

Tabel 2.9 Nilai Default MCF untuk Setiap Jenis TPA

| Tipe TPA | Nilai MCF |
|---|-----------|
| Tidak terkategori | 0,6 |
| Tidak terkelola dengan baik – kedalaman > 5 m | 0,8 |
| Tidak terkelola dengan baik – kedalaman < 5 m | 0,4 |
| Terkelola dengan baik – anaerob | 0,1 |
| Terkelola dengan baik – semi aerob | 0,5 |

e. Fraksi Gas Metana (F)

Komponen sampah yang didominasi oleh jenis limbah minyak akan memiliki fraksi emisi gas metana (CH₄) lebih dari 50%. Padahal pada sebagian kategori sampah/limbah yang ada di TPA hanya menghasilkan fraksi emisi gas metana (CH₄) sebesar sekitar 50%.⁶⁴ Penggunaan *default* berdasar IPCC untuk nilai fraksi gas CH₄ dalam gas TPA adalah 0,5.⁶⁵

f. Faktor recovery CH₄ (R)

Pemulihan (*recovery*) gas metan (CH₄) pada TPA dapat menggunakan alat/perangkat pengolahan gas, dimana pada alat ini terjadi proses pembakaran. Apabila gas yang diperoleh kembali melalui proses *recovery* ini digunakan kembali untuk energi, maka emisi Gas Rumah Kaca (GRK) yang dihasilkan harus dilaporkan di bawah Sektor Energi. Banyaknya CH₄ yang diperoleh kembali dinyatakan sebagai R. Nilai *default* yang diperoleh untuk pemulihan CH₄ adalah sebesar 0.⁶⁶

⁶⁴ Prabowo, S., Pranoto, & Budiastuti, S. (2019). Estimasi Emisi Gas Rumah Kaca Yang Dihasilkan Dari Tempat Pemrosesan Akhir (TPA) Di Jawa Tengah. *Bioeksperimen*, 5(1), 21–33.

⁶⁵ Herlintama, S. A. (2022). *TUGAS AKHIR Estimasi Emisi Gas Rumah Kaca Pada Pengelolaan Sampah di TPA Basirih Banjarmasin*. 14.

⁶⁶ *Ibid*, 14

g. Faktor Oksidasi (OX)

Gambaran dari besarnya gas CH₄ yang teroksidasi di bagian permukaan penutup timbunan sampah berupa tanah oleh mikroorganisme *methanotropic* merupakan pengertian dari faktor oksidasi. Faktor yang mempengaruhi proses oksidasi gas metan antara lain adalah ketebalan, kelembaban penutup timbunan sampah dan sifat fisiknya itu sendiri. Nilai dari faktor oksidasi akan berbeda-beda ditentukan sesuai dengan jenis TPA.⁶⁷ Nilai default faktor oksidasi berdasarkan KLHK (2012) dapat dilihat pada tabel

Tabel 2.10 Nilai Default OX IPCC

| Jenis TPA | Nilai Default OX |
|---|------------------|
| <i>Managed</i> (tidak berpenutup bahan teraerasi, tidak termanajemen dan tidak terkategori) | 0 |
| <i>Managed</i> (berpenutup bahan yang mengoksidasi CH ₄ seperti tanah/kompos) | 0,1 |

h. Waktu paruh ($t_{1/2}$) dan Konstanta Kecepatan Reaksi (k) Pembentukan CH₄

Waktu paruh memiliki pengertian sebagai waktu yang diperlukan untuk mendekomposisi DOC_m di dalam sampah yang mana memiliki waktu setengah dari masa awalnya. Faktor yang mempengaruhi waktu paruh ada beberapa yaitu komposisi limbah, kondisi iklim, karakteristik TPA, penimbunan sampah dan lainnya. Pada perhitungan emisi gas metana yang dihasilkan menggunakan metode FOD, digunakan konstanta reaksi k. Pada tabel di bawah ini, dijelaskan besaran nilai $t_{1/2}$ dan juga konstanta k untuk perhitungan emisi pada berbagai kondisi TPA.⁶⁸

⁶⁷ *Ibid*, 15

⁶⁸ *Ibid*, 16

Tabel 2.11 Default Nilai k berdasarkan Tier 2

| Jenis Limbah | | Zona Iklim | | | | | | | |
|-----------------------------|---|----------------------------------|--|------------------|--------------------------------------|------------------------|-----------|-----------------------|------------------------|
| | | Boreal and Temperate (MAT= 20°C) | | | | Tropical (MAT> 20°C) | | | |
| | | Dry (MAP/PET <1) | | Wet (MAP/PET >1) | | Dry (MAP/PET <1000mm) | | Wet (MAP/PET =1000mm) | |
| | | D | R | D | R | D | R | D | R |
| Limbah lama terdegradasi | Kertas/Tekstil | 0,04 | 0,03 ²⁻³ -0,05 ^{2,4} | 0,06 | 0,05-0,07 ^{2,3} | 0,045 | 0,04-0,06 | 0,07 | 0,06-0,085 |
| | Kayu/Ranting | 0,02 | 0,01 ²⁻⁴ -0,05 ^{6,7} | 0,03 | 0,02-0,04 | 0,025 | 0,02-0,04 | 0,035 | 0,03-0,05 |
| Limbah terdegradasi moderat | Lain-lain/non-food organic putrescible/limbah taman | 0,05 | 0,04-0,06 | 0,1 | 0,06-0,1 ³ | 0,065 | 0,05-0,08 | 0,17 | 0,15-0,2 |
| Limbah cepat terdegradasi | Limbah makanan/sewage sludge | 0,06 | 0,05-0,08 | 0,1854 | 0,1 ²⁻⁴ -0,2 ³ | 0,085 | 0,07-0,1 | 0,4 | 0,17-0,7 ¹⁰ |
| Limbah buhuk | | | 0,05 | 0,04-0,06 | 0,09 | 0,08 ² -0,1 | 0,065 | 0,05-0,08 | 0,17 |

Tabel 2.12 Default nilai t1/2 berdasarkan tier 2

| Jenis Limbah | | Zona Iklim | | | | | | | |
|-----------------------------|---|----------------------------------|------------------------------------|------------------|----------------------|-----------------------|-------|------------------------|--------------------|
| | | Boreal and Temperate (MAT= 20°C) | | | | Tropical (MAT> 20°C) | | | |
| | | Dry (MAP/PET <1) | | Wet (MAP/PET >1) | | Dry (MAP/PET <1000mm) | | Wet (MAP/PET = 1000mm) | |
| | | D | R | D | R | D | R | D | R |
| Limbah lama terdegradasi | Kertas/Tekstil | 17 | 14 ^{2,3} -23 ⁴ | 12 | 10-14 ^{2,3} | 15 | 12-17 | 10 | 8-12 |
| Limbah terdegradasi moderat | Lain-lain/non-food organic putrescible/limbah taman | 14 | 12-17 | 7 | 6-9 ² | 11 | 9-14 | 4 | 3-5 |
| Limbah cepat terdegradasi | Limbah makanan/sewage sludge | 12 | 9-14 | 44 | 31-48 ³ | 8 | 6-10 | 2 | 1 ¹⁰ -4 |
| Limbah buhuk | | | 0,05 | 14 | 12-17 | 7 | 35947 | 11 | 41166 |

D. Perbedaan LandGEM dan IPCC

Perbedaan antara model LandGEM dan IPCC akan dijelaskan pada tabel di bawah ini:

Tabel 2.13 Perbedaan LandGEM dan IPCC

| Parameter | IPCC | | LandGEM |
|----------------------|--|---|---|
| | <i>composition</i> | <i>bulk</i> | |
| <i>Equation rate</i> | <i>Tier 2-tier 3</i> | <i>Tier 2-3</i> | - |
| Model input | Menggunakan DOC dan K untuk komposisi sampah, perhitungan timbulan dihitung dengan satuan perkapita | Menggunakan DOC dan K untuk komposisi sampah, perhitungan timbulan dihitung dengan satuan perkapita | <i>K as bulk, Waste Qty per year</i> |
| Model output | CH ₄ untuk total dan untuk tiap komposisi sampah | CH ₄ untuk total | LFG, CH ₄ , CO ₂ , NMOOC dan 46 polutan udara lainnya |
| Parameter input | <ol style="list-style-type: none"> 1. DOC 2. DOCf 3. <i>Methane generation rate</i> (k) 4. Delay time (waktu paruh) 5. Fraksi metana 6. faktor konversi (C ke CH₄) 7. faktor oksidasi 8. MCF 9. <i>Dry Matter Content</i> (untuk menghitung DOC) 10. MSW (manual/spreadsheet) | (untuk tiap kota) | <ol style="list-style-type: none"> 1. tahun TPA dibuka 2. tahun rencana TPA ditutup 3. kapasitas desain pembuangan 4. pilihan model perhitungan penutupan 5. penentuan parameter model 6. jumlah sampah tahunan yang masuk ke TPA |
| | kompleks | | simpler |
| <i>comment</i> | Didapatkan hasil dari berbagai sektor, tidak hanya landfill saja | | Hanya dari landfill |

Sementara itu, persamaan dari metode IPCC dan LandGEM terletak pada *methane generation rate*. Kedua metode sama-sama menggunakan *methane generation rate* (k) dengan satuan yang sama yaitu 1/tahun. Hal yang membedakan antara *methane generation rate* milik IPCC dan *methane generation rate* milik LandGEM adalah IPCC

menggunakan faktor iklim dari suatu tempat yang dianalisis sebagai *default methane generation rate*. Sementara LandGEM menggunakan *default methane generation rate* dari tipe landfill. Selain itu, perbedaan dari kedua metode ini adalah metode LandGEM menggunakan data riil untuk mengetahui timbulan sampah dari 5 tahun ke belakang dan proyeksi penduduk untuk untuk timbulan sampah 5 tahun ke depan disesuaikan dengan tahun buka dan tutup landfill. Metode IPCC menggunakan timbulan sampah dan komposisinya dari satu tahun yang dianalisis saja serta tidak bisa memproyeksikan untuk tahun ke depan.

Permasalahan pada penggunaan metode LandGEM adalah karena parameter input yang digunakan kebanyakan default selain pada timbulan sampah. Hal ini menyebabkan parameter hasil yang ditampilkan pada LandGEM menjadi tidak terlalu spesifik karena parameter inputnya pun default dan sedikit. Kelebihan dari metode LandGEM adalah dalam sekali *running*, hasil parameter polutan udarayang didapat cukup banyak. Sementara itu pada metode IPCC, parameter hasil yang ditampilkan cukup spesifik karena meski *methane generation rate* yang digunakan *default*, parameter input lain yang digunakan cukup banyak dan tidak semuanya *default*. Namun karena metode IPCC tidak menyediakan parameter hasil berupa polutan udara yang tidak terlalu banyak, hal ini menjadi salah satu permasalahan IPCC, yaitu tidak mampu menganalisis parameter hasilyang cukup banyak.

BAB V

PENGOLAHAN SAMPAH PADA TEMPAT PEMROSESAN AKHIR (TPA)

A. Kondisi Eksisting Pengolahan Sampah TPA Gunung Kupang

Agar pembaca lebih memahami bagaimana pengolahan sampah pada TPA dan metode pengukuran gas yang dihasilkan, melalui penulis melakukan penelitian dan praktik langsung di TPA Gunung Kupang, Kota Banjarbaru, Kalimantan Selatan dengan hasil sebagai berikut:

1. Pengolahan Sampah di TPA Gunung Kupang

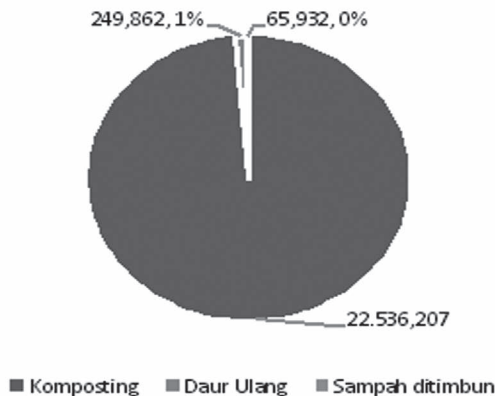
Sampah yang masuk ke TPA Gunung Kupang tidak langsung ditimbun begitu saja, melainkan dilakukan pengolahan terlebih dahulu. Hal ini dilakukan agar lahan penimbunan sampah tidak banyak berkurang dan masih bisa digunakan. Pengolahan sampah pada TPA Gunung Kupang terbagi menjadi kegiatan komposting dan daur ulang sampah plastik yang dilakukan oleh pemulung. Pengolahan sampah pada TPA Gunung Kupang mampu membantu mereduksi sampah dengan jumlah yang cukup besar. Dengan adanya pengolahan sampah, akan mengurangi penimbunan sampah di zona penimbunan dan emisi metana juga akan berkurang. Berdasarkan data dari TPA Gunung Kupang, jumlah timbunan sampah yang masuk ke TPA Gunung Kupang pada tahun 2022 adalah sebesar

62,608 ton/hari atau setara dengan 22.852 ton/tahun (Agustina, 2021).

Pengolahan sampah dengan komposting dilakukan dengan cara pemilahan sisa sampah dapur bersumber dari pasar. Dilakukan kegiatan pemrosesan di UPS khusus sampah organik untuk kegiatan komposting setelah sampah selesai dipilah. Berdasarkan data DLH Kota Banjarbaru tahun 2022, sampah dapur yang dipilah di TPA Gunung Kupang adalah sebesar 0,685 ton/hari atau 249,862 ton/tahun.

Daur ulang juga merupakan salah satu cara pengolahan sampah di TPA Gunung Kupang. Daur ulang dilakukan dengan pemilahan sampah plastik dari berbagai sumber oleh pemulung setiap harinya di tempat penimbunan/penumpahan sampah. Berdasarkan data dari DLH Kota Banjarbaru pada tahun 2022, sampah plastik yang dipilah oleh pemulung adalah sebesar 0,181 ton/hari atau 65,932 ton/tahun. Data lebih rinci tentang pengolahan sampah di TPA Gunung Kupang dapat dilihat pada Gambar 4.2.

Pengolahan Sampah TPA Gunung Kupang 2022



Gambar 4.2 Pengolahan Sampah di TPA Gunung Kupang Tahun 2022

Pengolahan sampah daur ulang dengan pemilahan plastik lebih dilakukan pada TPA Gunung Kupang jika dibandingkan dengan pengolahan sampah komposting dengan cara memilah sampah dapur. Hal ini disebabkan karena nilai jual dari sampah plastik serta proses pengolahan yang lebih mudah, menyebabkan sampah plastik lebih banyak digunakan dalam mereduksi sampah pada TPA Gunung Kupang dibanding dengan sampah dapur. Pengolahan sampah dapur menjadi kompos memerlukan waktu setidaknya 3-4 minggu dan memerlukan tempat cukup dalam pengolahannya. Kedua metode pengolahan sampah ini mampu mengurangi 1% dari total sampah yang masuk dan setara dengan 0,865 ton/hari atau 315,793 ton/tahun.

2. Analisis Material Balance Sampah di TPA Gunung Kupang

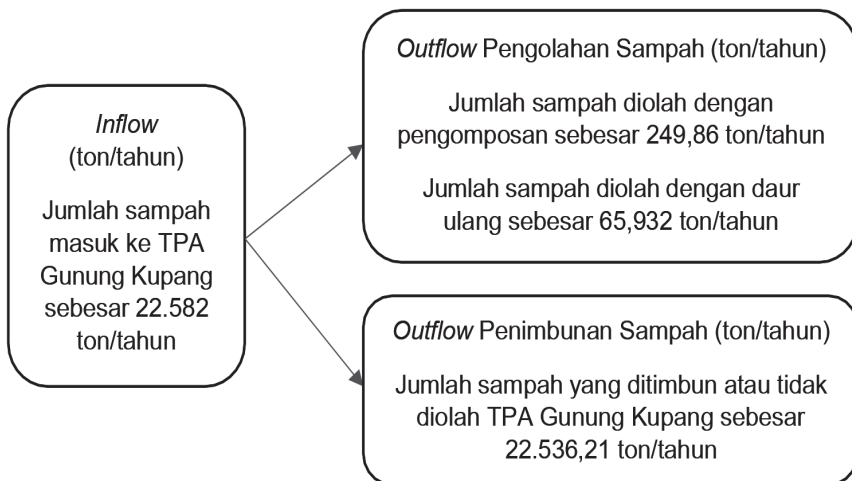
Analisis *material balance* dapat diartikan sebagai analisis alur dalam sebuah sistem mulai dari bahan masuk sampai akhirnya menjadi sampah.⁶⁹ Analisis *material balance* dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui alur penanganan sampah dari mulai sampah masuk ke TPA sampah dengan proses akhir berupa ditimbun atau tidaknya sampah (diolah). Analisis *material balance* TPA Gunung Kupang dapat dilihat pada **Tabel 4.5** dan **Gambar 4.3** berikut

| Jumlah sampah masuk (ton/tahun) | Sampah yang diolah (ton/tahun) | | Sampah yang ditimbun (ton/tahun) | Sampah yang diolah (%) | | Sampah yang ditimbun (%) |
|---------------------------------|--------------------------------|------------------------|----------------------------------|------------------------|----------------|--------------------------|
| | Komposting (ton/tahun) | Daur ulang (ton/tahun) | | Komposting (%) | Daur ulang (%) | |
| 22.852 | 249,862 | 65,932 | 22.536,207 | 1 | 0 | 99 |

Tabel 4.5 *Material Balance* Sampah di TPA Gunung Kupang Tahun 2022

⁶⁹Damanhuri, E., & Padi, T. (2010). Pengolahan Sampah, Diktat Kuliah. Bandung: Program Studi Teknik Lingkungan FTSL ITB.

Pembuatan *bagan alir/flowchart*, dapat dilihat pada **Gambar 4.3** di bawah ini dimana dijelaskan secara rinci tentang *inflow* (timbulan sampah masuk ke TPA Gunung Kupang), kemudian *outflow* yang terbagi menjadi dua jenis yaitu *outflow* berupa pengolahan sampah dengan cara komposting dan daur ulang serta *outflow* berupa penimbunan sampah yang tidak terolah di TPA Gunung Kupang.



Gambar 4.3 Skema *Material Balance* Sampah di TPA Gunung Kupang Tahun 2022

B. Analisis Karakteristik Berupa Timbulan dan Komposisi Sampah di TPA Gunung Kupang

1. Timbulan sampah

Pengukuran *sampling* timbulan sampah dilakukan dengan metode *Weight Volume Analysis* dimana data jembatan timbang digunakan sebagai data timbulan sampah masuk pada Tempat Pemrosesan Akhir (TPA) Gunung Kupang. Dokumentasi *sampling* timbulan sampah dapat dilihat pada lampiran B. Selain itu, data yang dibutuhkan untuk perhitungan proyeksi timbulan sampah dari

tahun 2022 – 2024. Didapatkan dari data jembatantimbang selama masa periode TPA Gunung Kupang 4 tahun TPA Gunung Kupang, Kota Banjarbaru. Berikut ini adalah data hasil penimbangan di jembatan timbang TPA Gunung Kupang yang akan disajikan pada tabel di bawah ini:

Tabel 4.6 Rekap Timbunan sampah TPA Gunung Kupang Kota Banjarbaru tahun 2019

| NO | BULAN | LH | BERAT SAMPAH TAHUN 2019 (Kg) | | | | | | | | RATA-RATA HARIAN | VOLUME (m ³) |
|--------|-----------|-----------|------------------------------|------------|---------|-----------|---------|-----------|------------|------------------|------------------|--------------------------|
| | | | MOBIL LUAR | DINAS LUAR | QMOLL | JUMLAH | ORGANIK | ANORGANIK | JUMLAH | RATA RATA HARIAN | | |
| 1 | JANUARI | 4.290.040 | 10.900 | 13.100 | 62.250 | 4.376.290 | 4.530 | 9.260 | 4.362.500 | 140.726 | 4.362,50 | |
| 2 | FEBRUARI | 3.555.580 | 8.900 | 11.010 | 45.570 | 3.621.060 | 730 | 9.800 | 3.610.530 | 128.948 | 3.610,53 | |
| 3 | MERET | 4.134.290 | 6.200 | 9.090 | 59.810 | 4.209.390 | 1.620 | 7.680 | 4.200.090 | 135.487 | 4.200,09 | |
| 4 | APRIL | 3.455.920 | 13.000 | 15.870 | 62.470 | 3.547.260 | 630 | 7.230 | 3.539.400 | 117.980 | 3.539,40 | |
| 5 | MEI | 3.481.390 | 4.400 | 1.260 | 61.020 | 3.548.070 | 2.000 | 7.960 | 3.538.110 | 114.133 | 3.538,11 | |
| 6 | JUNI | 3.516.650 | 11.470 | 21.460 | 64.300 | 3.613.880 | 3.620 | 8.730 | 3.601.530 | 120.051 | 3.601,53 | |
| 7 | JULI | 3.282.020 | 5.490 | 24.670 | 64.200 | 3.376.380 | | 9.940 | 3.366.440 | 108.595 | 3.366,44 | |
| 8 | AGUSTUS | 3.143.440 | 16.670 | 16.920 | 60.330 | 3.237.360 | | 13.220 | 3.224.140 | 104.005 | 3.224,14 | |
| 9 | SEPTEMBER | 3.165.730 | 10.180 | 13.980 | 71.230 | 3.261.120 | 6.470 | 9.240 | 3.245.410 | 108.180 | 3.245,41 | |
| 10 | OKTOBER | 3.704.050 | 15.660 | 19.460 | 67.760 | 3.806.930 | 1.250 | 9.100 | 3.796.580 | 122.470 | 3.796,58 | |
| 11 | NOVEMBER | 3.589.800 | 7.920 | 16.560 | 63.840 | 3.678.120 | 1.760 | 9.980 | 3.666.380 | 122.213 | 3.666,38 | |
| 12 | DESEMBER | 4.033.410 | 103.220 | 18.720 | 76.520 | 4.231.870 | 3.220 | 9.860 | 4.218.790 | 136.090 | 4.218,79 | |
| JUMLAH | | | 214.010 | 182.100 | 759.300 | 759.300 | 25.830 | 112.000 | 44.369.900 | 121.573 | 44.369,90 | |

Tabel 4.7 Rekap Timbunan sampah TPA Gunung Kumpang Kota Banjarbaru tahun 2020

| NO | BULAN | LH | MOBIL UMUM | BERAT SAMPAH TAHUN 2020 (Kg) | | | | | JUMLAH | PER HARI | VOLUME (m ³) | |
|----|-----------|------------|---------------|------------------------------|---------------|-----------|-------------------|-----------|-----------|-------------|-----------------------------|-----------|
| | | | | INDOMARKO | DINAS LUAR | QMOLL | JUMLAH ORGANIK | ANORGANIK | | | | |
| 1 | JANUARI | 4.161.040 | 13.620 | 16.820 | 67.370 | 4.258.850 | 1.250 | 0 | 4.257.600 | 137.342 | 4.257,60 | |
| 2 | FEBRUARI | 4.465.680 | 21.640 | 27.420 | 62.250 | 4.576.990 | 3.990 | 0 | 4.573.000 | 157.690 | 4.573,00 | |
| 3 | MARET | 4.356.770 | 41.060 | 24.340 | 43.740 | 59.600 | 4.525.510 | 2.800 | 0 | 4.522.710 | 145.894 | 4.522,71 |
| 4 | APRIL | 3.235.340 | 30.460 | 23.920 | 17.750 | 17.750 | 3.325.220 | 540 | 0 | 3.324.680 | 110.823 | 3.324,68 |
| 5 | MEI | 3.154.520 | 21.860 | 19.200 | 17.630 | 19.870 | 3.233.080 | 0 | 0 | 3.233.080 | 104.293 | 3.233,08 |
| 6 | JUNI | 3.254.890 | 13.570 | 17.300 | 12.790 | 22.340 | 3.320.890 | 0 | 0 | 3.320.890 | 110.696 | 3.320,89 |
| 7 | JULI | 3.461.650 | 10.410 | 25.250 | 28.600 | 33.520 | 3.559.430 | 0 | 0 | 3.559.430 | 114.820 | 3.559,43 |
| 8 | AGUSTUS | 3.509.520 | 21.010 | 22.130 | 13.410 | 42.460 | 3.608.530 | 0 | 0 | 3.608.530 | 116.404 | 3.608,53 |
| 9 | SEPTEMBER | 3.484.470 | 16.260 | 22.380 | 17.840 | 38.700 | 3.579.650 | 0 | 0 | 3.579.650 | 119.322 | 3.579,65 |
| 10 | OKTOBER | 3.543.520 | 11.300 | 33.900 | 18.620 | 47.020 | 3.654.360 | 0 | 0 | 3.654.360 | 117.883 | 3.654,36 |
| 11 | NOVEMBER | 3.847.100 | 9.570 | 36.580 | 19.200 | 51.760 | 3.964.210 | 0 | 0 | 3.964.210 | 132.140 | 3.964,21 |
| 12 | DESEMBER | 4.025.160 | 1.100 | 3.050 | 1.810 | 52.120 | 4.083.240 | 0 | 0 | 4.083.240 | 131.717 | 4.083,24 |
| | JUMLAH | 44.499.660 | 211.860 | 228.050 | 235.630 | 514.760 | 45.689.960 | 8.580 | 0 | 45.681.380 | 124.919 | 45.681,38 |

Tabel 4.8 Rekap Timbunan sampah TPA Gunung Kumpang Kota Banjarbaru tahun 2021

| NO | BULAN | LH | MOBIL UMUM | INDOMARKO | DINAS LUAR | BERAT SAMPAH TAHUN 2021 (Kg) | | | | Jumlah | PER HARI (Ton) | VOLUME (m ³) |
|----|-----------|------------|------------|-----------|------------|------------------------------|------------|---------|--------|------------|----------------|--------------------------|
| | | | | | | QMOLL | UMUM | PLASTIK | UPS | | | |
| 1 | JANUARI | 5.479,120 | 19.390 | 23.700 | 19.220 | 46.030 | 5.587,460 | 0 | 7.439 | 5.580,021 | 180 | 5.580,02 |
| 2 | FEBRUARI | 4.867,055 | 34.520 | 20.260 | 36.450 | 42.860 | 5.001,145 | 0 | 6.575 | 4.994,570 | 178 | 4.994,57 |
| 3 | MERET | 4.980,720 | 10.190 | 1.690 | 15.970 | 51.750 | 5.060,320 | 0 | 4.505 | 5.055,815 | 163 | 5.055,82 |
| 4 | APRIL | 4.657,780 | 10.040 | 20.290 | 6.090 | 52.150 | 4.746,350 | 0 | 6.312 | 4.740,038 | 158 | 4.740,04 |
| 5 | MEI | 4.727,650 | 7.960 | 7.770 | 8.180 | 49.210 | 4.800,770 | 0 | 5.876 | 4.794,894 | 155 | 4.794,89 |
| 6 | JUNI | 3.581,220 | 7.780 | 20.930 | 19.550 | 55.790 | 3.685,270 | 0 | 6.592 | 3.678,678 | 123 | 3.678,68 |
| 7 | JULI | 3.799,160 | 6.630 | 23.350 | 11.720 | 47.610 | 3.888,470 | 0 | 6.836 | 3.881,634 | 125 | 3.881,63 |
| 8 | AGUSTUS | 3.814,080 | 8.710 | 8.430 | 5.900 | 21.900 | 3.859,020 | 0 | 4.832 | 3.854,188 | 124 | 3.854,19 |
| 9 | SEPTEMBER | 3.837,570 | 18.840 | 22.960 | 16.640 | 41.780 | 3.937,790 | 0 | 2.937 | 3.934,853 | 131 | 3.934,85 |
| 10 | OKTOBER | 3.886,800 | 33.330 | 37.040 | 7.920 | 49.860 | 4.014,950 | 0 | 3.288 | 4.011,662 | 129 | 4.011,66 |
| 11 | NOVEMBER | 4.106,100 | 33.720 | 11.820 | 14.970 | 56.880 | 4.223,490 | 0 | 5.087 | 4.218,403 | 141 | 4.218,40 |
| 12 | DESEMBER | 4.244,140 | 10.590 | 27.890 | 25.090 | 66.660 | 4.281,460 | 0 | 6.083 | 4.275,377 | 141 | 4.275,38 |
| | JUMLAH | 51.981.395 | 201.700 | 226.130 | 187.700 | 582.480 | 53.086.495 | 0 | 66.362 | 53.020.133 | 145.33 | 53.020,13 |

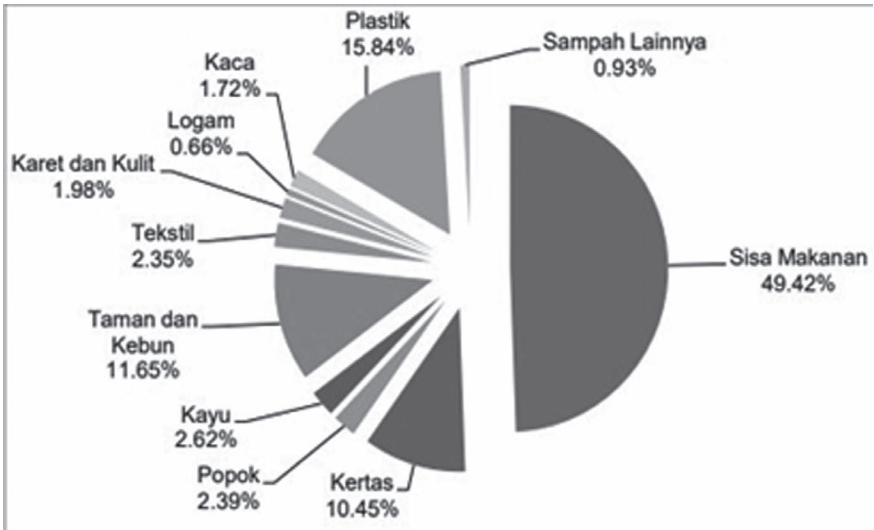
2. Komposisi sampah

Sampling komposisi sampah yang dilakukan dengan metode SNI 19-3964-1994, dilakukan selama 8 hari berturut-turut dimulai dari tanggal 10 November 2022 – 17 November 2022. Tempat penelitian dilakukan di Tempat Pemrosesan Akhir (TPA) Gunung Kupang Kota Banjarbaru. Dokumentasi *sampling* komposisi sampah dapat dilihat pada lampiran C.

Tujuan *sampling* komposisi adalah untuk mengetahui jenis sampah yang dihasilkan di TPA Gunung Kupang Kota Banjarbaru. Metode *sampling* komposisi sampah yang digunakan akan mengacu pada SNI 19-3964-1994 tentang Metode Pengambilan dan Pengukuran Contoh Timbulan dan Komposisi Sampah Perkotaan yaitu dengan metode kuadran. Berikut adalah **Tabel 4.9** dan diagram komponen komposisi sampah TPA Gunung Kupang Kota Banjarbaru tahun 2014- 2019:

Tabel 4.9 Komponen Komposisi Sampah di TPA Gunung Kupang Tahun 2014-2019

| No | Komponen Sampah | Persentase (%) |
|----|-----------------|----------------|
| 1 | Sampah dapur | 49,42 |
| 2 | Sampah kebun | 11,65 |
| 3 | Kertas & Kardus | 10,45 |
| 4 | Karet & Kulit | 1,98 |
| 5 | Kayu | 2,62 |
| 6 | Logam | 0,66 |
| 7 | Kaca | 1,72 |
| 8 | Tekstil | 2,35 |
| 9 | Nappies | 2,39 |
| 10 | Plastik | 15,84 |
| 11 | Dll | 0,93 |
| | Total | 100 |

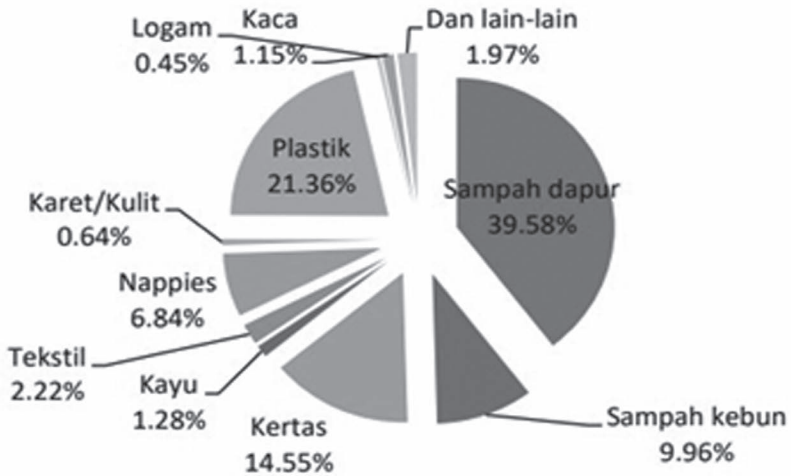


Gambar 4.4 Diagram Komposisi Sampah TPA Gunung Kupang Tahun 2014-2019

Kemudian ada komponen komposisi sampah TPA Gunung Kupang pada tahun 2020 – 2021 yang akan disajikan pada tabel dan gambar di bawah ini:

Tabel 4.10 Komponen Komposisi Sampah di TPA Gunung Kupang Tahun 2020-2021

| No | Komponen Sampah | Persentase (%) |
|----|-----------------|----------------|
| 1 | Sampah dapur | 39,58 |
| 2 | Sampah kebun | 9,96 |
| 3 | Kertas & Kardus | 14,55 |
| 4 | Karet & Kulit | 0,64 |
| 5 | Kayu | 1,28 |
| 6 | Logam | 0,45 |
| 7 | Kaca | 1,15 |
| 8 | Tekstil | 2,22 |
| 9 | Nappies | 6,84 |
| 10 | Plastik | 21,36 |
| 11 | Dll | 1,97 |
| | Total | 100 |



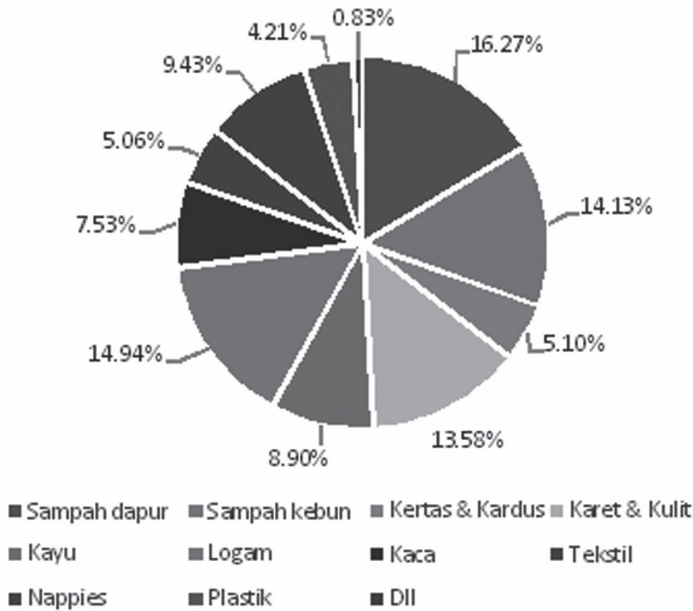
Gambar 4.5 Diagram Komposisi Sampah TPA Gunung Kupang Tahun 2021

Data *sampling* komposisi sampah digunakan untuk input data pada software IPCC dengan komposisi yang dibutuhkan sesuai pada **Tabel 2.7**. Berikut ini **Tabel 4.11** Komponen Komposisi Sampah di TPA Gunung Kupang Kota Banjarbaru beserta gambar diagramnya disajikan pada **Gambar 4.6**.

Tabel 4.11 Komponen Komposisi Sampah di TPA Gunung Kupang Tahun 2022

| No | Komponen Sampah | Berat per Komponen (Kg) | Persentase (%) |
|-------|-----------------|-------------------------|----------------|
| 1 | Sampah dapur | 158,35 | 16,27 |
| 2 | Sampah kebun | 137,57 | 14,13 |
| 3 | Kertas & Kardus | 49,60 | 5,10 |
| 4 | Karet & Kulit | 132,22 | 13,58 |
| 5 | Kayu | 86,67 | 8,90 |
| 6 | Logam | 145,45 | 14,94 |
| 7 | Kaca | 73,33 | 7,53 |
| 8 | Tekstil | 49,26 | 5,06 |
| 9 | Nappies | 91,82 | 9,43 |
| 10 | Plastik | 40,98 | 4,21 |
| 11 | Dll | 8,07 | 0,83 |
| Total | | 973,32 | 100 |

Komposisi Sampah TPA Gunung Kupang Tahun 2022



Gambar 4.6 Diagram Komposisi Sampah TPA Gunung Kupang Tahun 2022

Berdasarkan gambar diagram di atas dapat dilihat persentase komposisi sampah di TPA Gunung Kupang dengan rincian sebagai berikut:

| | |
|----------------------------|----------|
| <i>Sampah dapur</i> | = 16,27% |
| <i>Sampah kebun</i> | = 14,13% |
| <i>Kertas & Kardus</i> | = 5,10% |
| <i>Kayu & Karet</i> | = 13,58% |
| <i>Tekstil</i> | = 5,06% |
| <i>Nappies</i> | = 9,43% |
| <i>Sawage Sludge</i> | = 0% |
| <i>Industrial Waste</i> | = 0% |
| <i>Lain-lain</i> | = 36,42% |

Keterangan: untuk sampah lain-lain terdiri dari sampah plastik, logam, karet, dan sebagainya. Dari gambar 4.6, dapat dilihat nilai persentase komposisi sampah tertinggi adalah sampah *Sampah dapur* dengan persentase nilai sebesar 16,27%, disusul dengan sampah *kebun* dengan persentase sebesar 14,13%.

Untuk data hasil *sampling* komposisi sampah di TPA Gunung Kupang Kota Banjarbaru serta perhitungan persentase komposisi sampah disajikan pada **Tabel 4.12** dan **Tabel 4.13**.

Tabel 4.12 Hasil Komponen DOC Komposisi Sampah TPA Gunung Kupang

| No | Komponen Sampah | Fraksi Berat Sampah Basah | Fraksi Kandungan Bahan Kering | DOCi Berat Kering (default) | DOCi Berat Basah | DOC |
|----|-----------------|---------------------------|-------------------------------|-----------------------------|------------------|-------|
| 1 | Sampah dapur | 0,396 | 0,487 | 0,38 | 0,185 | 0,073 |
| 2 | Sampah kebun | 0,1 | 0,535 | 0,49 | 0,262 | 0,026 |
| 3 | Kertas & Kardus | 0,146 | 0,66 | 0,44 | 0,290 | 0,042 |
| 4 | Kayu | 0,013 | 0,423 | 0,5 | 0,212 | 0,003 |
| 5 | Tekstil | 0,022 | 0,939 | 0,3 | 0,282 | 0,006 |
| 6 | Nappies | 0,068 | 0,541 | 0,6 | 0,325 | 0,022 |
| 7 | Karet & Kulit | 0,006 | 0,976 | 0,39 | 0,381 | 0,002 |
| 8 | Plastik | 0,214 | 1 | 0 | 0,000 | 0,000 |
| 9 | Logam | 0,005 | 1 | 0 | 0,000 | 0,000 |
| 10 | Kaca | 0,011 | 1 | 0 | 0,000 | 0,000 |
| 11 | Dll | 0,02 | 1 | 0 | 0,000 | 0,000 |

3. Proyeksi Timbulan Sampah

Perhitungan proyeksi timbulan sampah dapat dilakukan dengan cara perkalian antara jumlah penduduk hasil proyeksi dari **Tabel 4.4** dengan rata-rata jumlah timbulan sampah (kg/orang/hari) di **Tabel 4.9**. Setelah dilakukan perhitungan, dari data tersebut dapat dilakukan perkiraan jumlah timbulan sampah pada tahun 2021 – 2024 serta perhitungan timbulan sampah pada tahun 2014-2017 dengan perhitungan proyeksi timbulan sampah di TPA Gunung Kupang Kota Banjarbaru:

Contoh perhitungan:

$$\begin{aligned} \text{Timbulan sampah 2022} &= (\text{MSW} \times \text{persen pelayanan}) - \\ &\quad \text{komposting} - \text{daur ulang} \quad 4.13 \\ &= (67.973.476 \text{ kg/tahun} \times 91\%) - \\ &\quad 249.862 \text{ kg/tahun} - 65.932 \text{ kg/tahun} \\ &= 61.838.362 \text{ kg/tahun} - 249.862 \\ &\quad \text{kg/tahun} - 65.932 \text{ kg/tahun} \\ &= 61.522.468 \text{ kg/tahun} \end{aligned}$$

Angka 91% didapat dari perhitungan rata-rata kenaikan persen pelayanan. Kenaikan persen pelayanan sendiri didapatkan dari pengurangan persen pelayanan tahun $n+1$ dikurangi dengan tahun n . Dalam penelitian ini, hanya ada persen pelayanan dari 3 tahun yang diketahui yaitu tahun 2019, 2020 dan tahun 2021. Hal ini dikarenakan pada TPA Gunung Kupang, jumlah timbulan sampah yang tercatat pada jembatan timbang hanya dari tahun 2019 – 2021, sisanya masih belum dilakukan perhitungan secara terstruktur. Maka dari itu, untuk mendapatkan persen pelayanan dari tahun 2014 – 2018, dilakukan perhitungan dengan cara membuat rata-rata kenaikan persen pelayanan dari tahun 2019 – 2021. Untuk lebih jelasnya terkait perihal persentase pelayanan, berikut disajikan perhitungan secara rinci seperti **Tabel 4.13** di bawah ini:

Tabel 4.13 Perhitungan Persentase Pelayanan Tahun 2014 – 2024

| Tahun | MSW 2019-2021 | Sampah Masuk ke TPA | % to SWDS | Kenaikan (%) |
|-----------|---------------|---------------------|-------------|--------------|
| 2019 | 58.126.250 | 44.369.900 | 76,33367024 | -0,047741552 |
| 2020 | 59.881.791 | 45.681.380 | 76,28592869 | 9,688325522 |
| 2021 | 61.669.780 | 53.020.133 | 85,97425421 | - |
| rata-rata | 59.892.607 | 47.690.471 | 80 | 5 |

Keterangan:

1. Kolom MSW didapatkan dari berat timbunan sampah rata-rata (kg/org/hari) menurut SNI (dalam hal ini sebesar 0,7 kg/org/hr) dikalikan dengan jumlah penduduk di suatu wilayah, dikalikan dengan jumlah hari dalam setahun.
2. Kolom sampah masuk ke TPA didapatkan dari data jembatan timbang TPA Gunung Kupang.
3. Kolom % to SWDS didapatkan dari perbandingan antara sampah masuk ke TPA dibagi dengan MSW, dikalikan dengan 100%.
4. Kolom kenaikan didapatkan dari % to SWDS tahun n+1 dikurangkan dengan % to SWDS tahun n. Rata-rata dari kenaikan ini akan digunakan dalam proyeksi persen pelayanan di TPA Gunung Kupang dengan cara persen pelayanan tahun n-1 dikurangkan dengan angka 5%.

Tabel 4.14 Proyeksi Timbunan Sampah Masuk TPA Gunung Kupang Kota Banjarbaru Tahun 2014 – 2024

| Tahun | Jumlah Penduduk | MSW | Jumlah Hari | Persentase Pelayanan (%) | Berat Timbunan Sampah | | | Volume Timbunan Sampah (m ³ /tahun) | Volume Timbunan Sampah (m ³ /bulan) |
|-------|-----------------|---------------|-------------|--------------------------|----------------------------|----------------------------|---------------------------|--|--|
| | | | | | Jumlah Timbunan (Kg/Tahun) | Jumlah Timbunan (Mg/Tahun) | Jumlah Timbunan (Gg/tahu) | | |
| 2014 | 227.500 | 58.126.250,00 | 365 | 51 | 29.838.338 | 29.838 | 30 | 119.353 | 9.946 |
| 2015 | 234.371 | 59.881.790,50 | 365 | 56 | 33.733.610 | 33.734 | 34 | 134.934 | 11.245 |
| 2016 | 241.369 | 61.669.779,50 | 365 | 61 | 37.824.339 | 37.824 | 38 | 151.297 | 12.608 |
| 2017 | 248.423 | 63.472.076,50 | 365 | 66 | 42.103.358 | 42.103 | 42 | 168.413 | 14.034 |
| 2018 | 255.597 | 65.305.033,50 | 365 | 71 | 46.584.477 | 46.584 | 47 | 186.338 | 15.528 |
| 2019 | 262.719 | 67.124.704,50 | 365 | 76 | 51.238.751 | 51.239 | 51 | 204.955 | 17.080 |
| 2020 | 253.442 | 64.754.431,00 | 365 | 76 | 49.398.519 | 49.399 | 49 | 197.594 | 16.466 |
| 2021 | 258.753 | 66.111.391,50 | 365 | 86 | 56.838.776 | 56.839 | 57 | 227.355 | 18.946 |
| 2022 | 266.041 | 67.973.475,50 | 365 | 91 | 61.522.468 | 61.522 | 62 | 246.090 | 20.507 |
| 2023 | 271.500 | 69.368.250,00 | 365 | 96 | 66.575.661 | 66.576 | 67 | 266.303 | 22.192 |
| 2024 | 276.960 | 70.763.280,00 | 365 | 99 | 70.055.647 | 70.056 | 70 | 280.223 | 23.352 |

Berdasarkan hasil perhitungan Tabel di atas, dapat diketahui bahwa jumlah timbunan sampah di TPA Gunung Kupang Kota Banjarbaru pada 10 tahun mendatang yaitu pada tahun 2024 sebesar 70 Gg/tahun.

C. Estimasi Emisi Gas Rumah Kaca (GRK) dari Penimbunan Sampah (Landfill) dengan Metode LandGEM

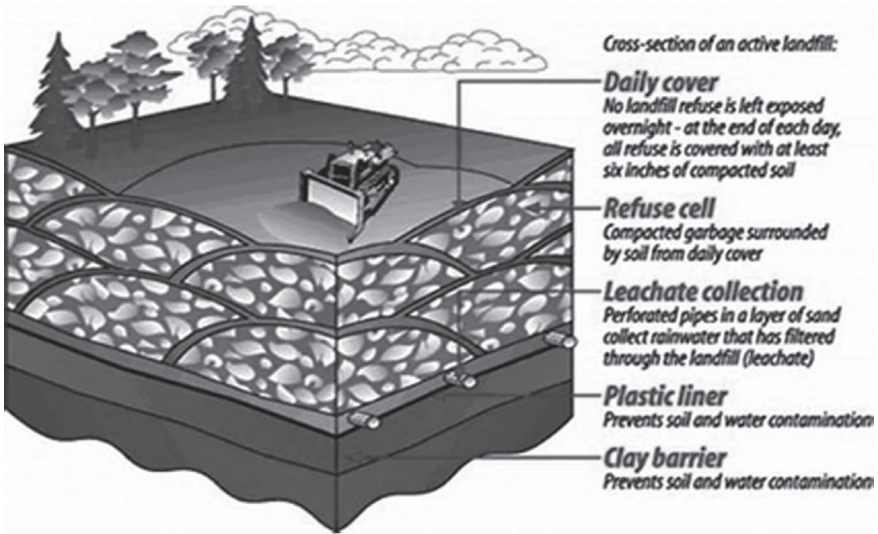
1. Perhitungan Sisa Masa Layanan TPA Gunung Kupang

TPA Gunung Kupang mempunyai luas lahan total sebesar 14 hektar. Secara umum, masa layanan TPA adalah selama 20 tahun, menurut RENSTRA-DLH Banjarbaru, masa layanan TPA Gunung Kupang diperkirakan akan berakhir/tutup/berhenti beroperasi pada tahun 2024. Luas lahan landfill baik landfill pertama yang dioperasikan pada tahun 2014 – 2020 maupun landfill kedua yang sekarang masih dioperasikan terinci sebagai berikut:

1. Luas Landfill Pertama = 3 hektar
= 30.000 m²
Tinggi Landfill Pertama = 10 m
Penyusutan tinggi = 0,002 x 365 x perkiraan tahun landfill masih bisa menampung timbunan sampah
= 0,002 x 365 x 7 tahun
= 5,11 m
Kapasitas Landfill = 30.000 m² x (10+5,11) m
= 453.300 m³
2. Luas Landfill Kedua = 4,5 hektar
= 45.000 m²
Penyusutan tinggi = 0,002 x 365 x perkiraan tahun landfill masih bisa menampung timbunan sampah
= 0,002 x 365 x 4 tahun
= 2,92 m
Tinggi Landfill Kedua = 15 m
Kapasitas Landfill = 45.000 m² x (15 + 2,92) m

$$= 45.000 \text{ m}^2 \times 17,92 \text{ m}$$

$$= 839.250 \text{ m}^3$$



Gambar 4.7 Denah Potongan Landfill beserta Tingginya

Berikut adalah hasil perhitungan sisa masa layanan Landfill terbaru (landfill kedua) TPA Gunung Kupang Kota Banjarbaru berdasarkan kondisi eksisting lapangan:

a. Menghitung sisa luas lahan

$$\begin{aligned} \text{Sisa volume lahan} &= \text{Kapasitas landfill untuk sampah} - \\ & \text{(proyeksi timbulan sampah tahun } n \\ & (0,25 \times \text{volume sampah pada tahun } n) \\ & + (0,15 \times (0,25 \times \text{volume sampah pada} \\ & \text{tahun } n))) \quad 4.14 = (839.250 \text{ m}^3) - \\ & (196.094 \text{ m}^3 + \\ & 212.253 \text{ m}^3 + 229.686 \text{ m}^3 + \\ & 249.692 \text{ m}^3) = -40.474 \text{ m}^3 \\ & \text{(hal ini mengartikan lahan landfill} \end{aligned}$$

pada tahun 2024 sudah akan habis karena nilainya yang dihasilkan minus jika dikurangkan dengan total volume timbunan sampah dari tahun 2021 sampai tahun 2024 berdasarkan rumus ini)

Pembuktian dilakukan dengan cara mengutip dari metode Murtudo,⁷⁰ jumlah timbunan sampah dibuang di TPA merupakan salah satu cara untuk menghitung luas lahan TPA yang dibutuhkan dalam hal ini adalah luas landfill, kebutuhan tanah penutup, dan kebutuhan zona penyangga TPA. Perhitungan umur teknis dan luasan lahan TPA dilakukan dengan penyederhanaan permasalahan atau yang dikenal dengan permodelan. Beberapa asumsi dasar yang diperlukan berdasarkan Murtudo⁷¹ adalah sebagai berikut:

- a. Bentuk tumpukan sampah pada penelitian ini dimodelkan dalam bentuk persegi.⁷²
- b. Sampah yang masuk ke TPA dan diambil oleh pemulung, terutama komponen beban non organik besarnya dianggap 25% dan didasarkan atas komposisi sampahnya.⁷³
- c. Penyusutan tinggi yang dialami oleh sampah harian diasumsikan sebesar 0,002 m per hari (Murtudo, 1996).
- d. Pemadatan sampah yang terdapat di landfill diberikan nilai sebesar 250 kg/m³. Kepadatan sampah dipengaruhi oleh komposisi sampah dalam suatu TPA dan akan mempengaruhi

⁷⁰ Murtudo. (1996). *Pengelolaan Limbah Padat dan Permasalahannya*, Materi Pelatihan Pengelolaan Limbah Padat. Yogyakarta: PUSTEKLIM.

⁷¹ *Ibid*, 20

⁷² *Ibid*, 21

⁷³ *Ibid*, 21

banyaknya sampah yang masuk ke TPA. Amerika Serikat sebagai negara dengan industri maju memiliki kepadatan sampah berkisar antara 100-150 kg/m³ sementara Negara Indonesia memiliki kepadatan sampah yang bervariasi dari 250-500 kg/m³. Karena belum ada kajian yang mengkaji kepadatan sampah Kota Banjarbaru, maka dalam penelitian ini digunakan satuan kepadatan sampah berdasarkan kisaran menurut Lembaga Penelitian ITB (1989) dengan nilai yang diambil nilai terendah yaitu 250 kg/m³. Nilai ini diambil dengan pertimbangan nilai yang paling mendekati kepadatan sampah di Kota Jakarta.⁷⁴

- e. Tinggi penimbunan sampah (tinggi landfill) adalah 15 m.
- f. Semua faktor-faktor lain diasumsikan tetap.

Dikutip dari Murtudo⁷⁵, luas lahan TPA, kebutuhan tanah penutup, dan zona penyangga dihitung dengan persamaan yang dirumuskan seperti berikut:

$$\text{Luas TPA} = \frac{V+SC}{I}$$

Luas Penyangga = 25% x LTPA Keterangan:

LTPA = Luas areal TPA (m²)

Lpenyangga = Luas zona penyangga dan fasilitas pendukung TPA (m²)

V = Volume sampah (m³)

SC = Soil cover atau lapisan tanah penutup (m³)
= 15% dari volume sampah

T = Tinggi penimbunan sampah dan lapisan penutup (m)

= Di Indonesia antara 10 – 15 m

⁷⁴ *Ibid*, 22

⁷⁵ *Ibid*, 23

Dikutip dari Murtudo⁷⁶ pula, dengan asumsi pengoperasian landfill TPA (sel ke 2) dimulai pada tahun 2021, maka diperoleh total sampah Kota Banjarbaru dari tahun 2021 sampai dengan 2023 dengan membagikan volume total sampah (kg) dengan kepadatan sampah (250 kg/m³) adalah didapatkan V sebesar = 1.019.970 m³.

$$\begin{aligned} V \text{ Total} &= 1.019.970 \text{ m}^3 - (25\% \times 1.019.970 \text{ m}^3) \\ &= 1.019.970 \text{ m}^3 - (254.993 \text{ m}^3) \\ &= 764.978 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

Diperoleh SC (soil cover) lapisan tanah penutup (15% volume total)

$$\begin{aligned} \text{SC} &= 15\% \times 764.978 \text{ m}^3 \\ &= 114.747 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

Sehingga perhitungan dapat dihitung menjadi seperti ini:

$$\begin{aligned} \text{LTPA} &= \frac{764.978 \text{ m}^3 + 114.747 \text{ m}^3}{15 + (0,002 \times 365 \times 4)} \\ &= 47170 \text{ m}^2 \\ &= 4,72 \text{ hektar} \end{aligned}$$

Berdasarkan hasil perhitungan dengan menggunakan data kapasitas landfill dan jumlah timbulan sampah per tahun di atas, dapat dilihat bahwa masa layanan TPA Gunung Kupang belum habis sampai pada tahun 2024 dengan hasil perhitungan masih bisa menampung timbulan sampah sampai dengan 2 tahun ke depan. Hal ini juga dibuktikan dengan angka 4,72 hektar yang didapatkan ketika menggunakan rumus perhitungan Luas TPA (landfill) yang diperlukan untuk menampung sampai dengan tahun 2024. Lahan landfill yang dibutuhkan sampai dengan tahun 2024 adalah sekitar

⁷⁶ *Ibid*, 23

4,72 hektar, hampir mendekati dengan angka 4,5 hektar yang merupakan kapasitas landfill kedua. Dapat disimpulkan bahwa landfill TPA Gunung Kupang dapat menampung sampai dengan pada tahun 2024.



Gambar 4.8 Lahan landfill TPA Gunung Kupang

2. Perhitungan Potensi Gas Metana dengan LandGEM

Input data LandGEM memiliki beberapa tahapan perhitungan dan pengumpulan data antara lain: data tahun awal TPA beroperasi, tahun TPA tutup, data proyeksi timbulan sampah TPA, pemilihan parameter *default*, tahap perhitungan kemudian didapatkan hasil beserta grafiknya.⁷⁷

⁷⁷ Khoirusyi, Y. (2020). *Potensi Produksi Gas Metana (CH₄) dari Kegiatan Landfilling di TPA Lempeni, Kota Banjarbaru dengan Permodelan LandGEM*, 40

Perhitungan potensi gas metana di TPA Gunung Kupang menggunakan model LandGEM-v303 dapat menggunakan dua parameter yaitu parameter *default* CAA dan *inventory*. Parameter model CAA lebih umum digunakan karena parameter dengan model ini lebih sesuai digunakan pada wilayah manapun. Parameter CAA *default* juga menggunakan nilai spesifik dari *New Source Performance Standards* (NSPS)/*Emission Guidelines* (EG) dan *National Emission Standards for Hazardous Air Pollutants* (NESHAP). Sementara parameter *default inventory* jarang digunakan dan sebaiknya tidak digunakan pada wilayah selain di U.S. karena mempunyai nilai kurang spesifik dan hanya berdasarkan faktor emisi dari data berbagai uji lapang TPA di U.S. Data-data ini dikumpulkan oleh EPA di dalam *Compilation of Air Pollutant Emission Factors* (AP-42). Berdasarkan dari penjelasan ini, parameter input yang akan dibandingkan dengan parameter IPCC adalah parameter *default* CAA⁷⁸

Berdasarkan kondisi wilayah Kota Banjarbaru dengan rata-rata temperatur sebesar 27°C, dan curah hujan sedang maka parameter *default* yang akan digunakan adalah Default CAA- Konvensional (diasumsikan tidak ada tambahan air lindi). Semakin tinggi nilai Konstanta (K) maka semakin cepat pula laju pembentukannya, nilai K yang digunakan pada *default* CAA Konvensional adalah 0,05 per tahun sedangkan untuk *inventory default* adalah 0,04 per tahun, sedangkan untuk nilai kapasitas pembentukan metana (Lo) pada *default* CAA-Konvensional adalah 170 m³ /mg, sedangkan untuk *inventory default* adalah 100 m³ /mg, untuk nilai pada parameter *default* lain dapat dilihat pada Tabel 2.5. Berikut ini gambar input

⁷⁸ Khoirusyi, Y. (2020). *Potensi Produksi Gas Metana (CH₄) dari Kegiatan Landfilling di TPA Lempeni, Kota Banjarbaru dengan Permodelan LandGEM*, 41

default model LandGEMV-302 default CAA-Konvensional.⁷⁹

a. Perhitungan Potensi Gas Metana di Landfill Pertama dengan LandGEM

Landfill pertama TPA Gunung Kupang memiliki masa periode operasi selama 7 tahun yaitu dari tahun 2014-2020. Potensi gas metana pada landfill pertama dihitung juga dengan menggunakan LandGEM. Langkah dan pengisian parameter input dapat dilihat pada gambar LandGEM di bawah:

| Year | Input Units (Mg/year) | Calculated Units (short tons/year) |
|------|-----------------------|------------------------------------|
| 2014 | 29,838 | 32,822 |
| 2015 | 33,734 | 37,107 |
| 2016 | 37,824 | 41,606 |
| 2017 | 42,103 | 46,313 |
| 2018 | 46,584 | 51,242 |
| 2019 | 51,239 | 56,363 |
| 2020 | 49,399 | 54,339 |
| 2021 | | |
| 2022 | | |
| 2023 | | |
| 2024 | | |
| 2025 | | |
| 2026 | | |

Gambar 4.9 Parameter input LandGEM Landfill Pertama

Setelah parameter input dimasukkan pada model LandGEM, data proyeksi timbunan sampah juga dimasukkan. Satuan yang dipakai pada timbunan sampah adalah Mg/tahun seperti pada gambar di atas. Data lebih jelasnya akan disajikan pada Tabel 4.18 sebagai berikut:

⁷⁹ *Ibid*, 41

| <i>Year</i> | <i>Mg/Year</i> | <i>Short Tons/Year</i> |
|-------------|----------------|------------------------|
| 2014 | 29.838 | 32.822 |
| 2015 | 33.734 | 37.107 |
| 2016 | 37.824 | 41.606 |
| 2017 | 42.103 | 46.313 |
| 2018 | 46.584 | 51.242 |
| 2019 | 51.239 | 56.363 |
| 2020 | 49.399 | 54.339 |

Tabel 4.15 Input Proyeksi Timbunan Sampah

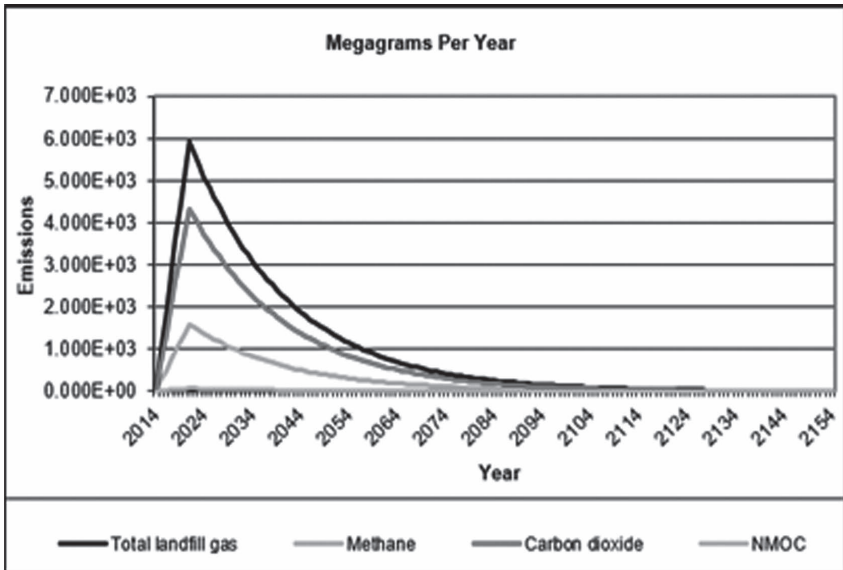
Setelah input data selesai, hasilnya akan muncul pada tab '*Result*' dan dapat dilihat beserta dengan grafiknya. Hasil perhitungan potensi emisi gas metana dilandfill TPA Gunung Kupang dengan perangkat lunak LandGEM-v303 untuk parameter *CAA defaults* sebesar 3.96 Gg/tahun. Hal ini menunjukkan cadangan atau potensi kandungan metana yang berada di TPA GunungKupang. Berdasarkan pada proses pembentukan metana dari proses dekomposisi bahan organik secara anaerob yang terjadi di dalam timbunan sampah, perkiraan dari metana yang dihasilkan adalah terdapat pada hasil di LandGEM. Proses perhitungan dan grafik lengkap dapat dilihat pada lampiran D. Berikut hasilperhitungan *methane generate default* CAA yang disajikan pada tabel dan gambar di di bawah ini:

| <i>Year</i> | <i>Mg/year</i> | <i>m³/year</i> | <i>Short tons/year</i> | <i>Gg/year</i> |
|-------------|----------------|---------------------------|------------------------|----------------|
| 2014 | 160 | 240.000 | 176 | 0,00 |
| 2015 | 166 | 248.000 | 182 | 0,17 |
| 2016 | 344 | 516.300 | 379 | 0,34 |
| 2017 | 537 | 805.500 | 591 | 0,54 |
| 2018 | 745 | 1.116.000 | 819 | 0,74 |
| 2019 | 967 | 1.449.000 | 1.063 | 0,97 |
| 2020 | 1.204 | 1.804.000 | 1.324 | 1,20 |
| Total | | | | 3,96 |

Tabel 4.16 Hasil perhitungan gas metana dengan LandGEM

Dari tabel di atas, dapat dilihat nilai *methane generate* terbesar adalah pada tahun 2020 dengan emisigas metana sebesar 1,20 Gg/tahun pada parameter *default* CAA-Konvensional. Setahun setelah TPA Gunung Kupang berhenti beroperasi/tutup, menurut USEPA (2005) batas waktu produksi gas metana pada model LandGEM adalah 80 tahun atau lebih jika nilai gasmetana masih belum bernilai nol.⁸⁰ Grafik perhitungan estimasi emisi gas metan yang dihasilkan di Landfill sel pertama TPA Gunung Kupang yang dianalisis menggunakan metode LandGEM dengan parameter CAA default konvensional dapat dilihat pada **Gambar 4.10**.

⁸⁰ Khoirusyi, Y. (2020). *Potensi Produksi Gas Metana (CH₄) dari Kegiatan Landfilling di TPA Lempeni, Kota Banjarbaru dengan Permodelan LandGEM*, 50



Gambar 4.10 Hasil Model LandGEM Default CAA-Konvensional

b. Perhitungan Potensi Gas Metana di Landfill Kedua dengan LandGEM

Landfill kedua TPA Gunung Kupang memiliki masa periode operasi diperkirakan selama 4 tahun yaitu dari tahun 2021-2024. Potensi gas metana pada landfill kedua dihitung juga dengan menggunakan LandGEM. Langkah dan pengisian parameter input dapat dilihat pada LandGEM di bawah:

USER INPUTS Landfill Name or Identifier: TPA Gunung Kupang

1: PROVIDE LANDFILL CHARACTERISTICS

Landfill Open Year: 2021
 Landfill Closure Year: 2024
 Have Model Calculate Closure Year? Yes No
 Waste Design Capacity: megagrams

2: DETERMINE MODEL PARAMETERS

Methane Generation Rate, k (year⁻¹): CAA Conventional - 0.05
 Potential Methane Generation Capacity, L_0 (m³/Mg): CAA Conventional - 170
 NMOC Concentration (ppmv as hexane): CAA - 4,000
 Methane Content (% by volume): CAA - 50% by volume

4: ENTER WASTE ACCEPTANCE RATES

Input Units: Mg/year

| Year | Input Units (Mg/year) | Calculated Units (short tons/year) |
|------|-----------------------|------------------------------------|
| 2021 | 56,839 | 62,523 |
| 2022 | 61,523 | 67,675 |
| 2023 | 66,576 | 73,234 |
| 2024 | 70,056 | 77,062 |
| 2025 | | |
| 2026 | | |
| 2027 | | |
| 2028 | | |
| 2029 | | |
| 2030 | | |
| 2031 | | |
| 2032 | | |
| 2033 | | |

Gambar 4.11 Parameter input LandGEM Landfill Kedua

Setelah parameter input dimasukkan pada model LandGEM, data proyeksi timbunan sampah juga dimasukkan. Satuan yang dipakai pada timbunan sampah adalah Mg/tahun seperti pada gambar di atas. Data lebih jelasnya akan disajikan pada Tabel 4.17 sebagai berikut:

| <i>Year</i> | <i>Mg/Year</i> | <i>Short Tons/Year</i> |
|-------------|----------------|------------------------|
| 2021 | 56.839 | 62.523 |
| 2022 | 61.522 | 68.022 |
| 2023 | 66.576 | 73.234 |
| 2024 | 70.056 | 77.062 |

Tabel 4.17 Input Proyeksi Timbunan Sampah

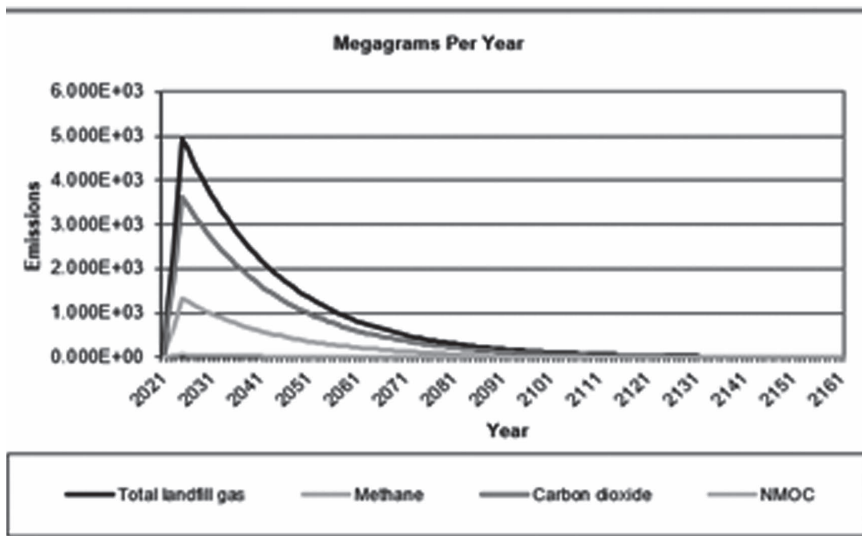
Setelah input data selesai, hasilnya akan muncul pada tab ‘*Result*’ dan dapat dilihat beserta dengan grafiknya. Hasil perhitungan potensi emisi gas metana di landfill TPA Gunung Kupang dengan perangkat lunak LandGEM-v303 untuk parameter CAA *defaults* sebesar 1,935 Gg/tahun. Hal ini menunjukkan cadangan atau potensi kandungan metana yang berada di TPA Gunung Kupang. Berdasarkan pada proses pembentukan metana dari proses dekomposisi bahan organik secara anaerob yang terjadi di dalam timbunan sampah, perkiraan dari metana yang dihasilkan adalah terdapat pada hasil di LandGEM. Proses perhitungan dan grafik lengkap dapat dilihat pada lampiran D. Berikut hasil perhitungan *methane generate default* CAA yang disajikan pada tabel dan gambar di bawah ini:

| <i>Year</i> | <i>Mg/year</i> | <i>m³/year</i> | <i>Short tons/year</i> | <i>Gg/year</i> |
|-------------|----------------|---------------------------|------------------------|----------------|
| 2021 | 0 | 0 | 0 | 0,0000 |
| 2022 | 315 | 472.400 | 347 | 0,3152 |
| 2023 | 641 | 960.800 | 705 | 0,6410 |
| 2024 | 979 | 1.467.000 | 1.077 | 0,9789 |
| Total | | | | 1,9351 |

Tabel 4.18 Hasil perhitungan gas metana dengan LandGEM

Dari tabel di atas, dapat dilihat nilai *methane generate* terbesar adalah pada tahun 2024 dengan emisigas metana sebesar 0,9789 Gg/tahun pada parameter default CAA-Konvensional. Setahun setelah TPA Gunung Kupang berhenti beroperasi/tutup, menurut USEPA (2005) batas waktu produksi gas metana pada model LandGEM

adalah 80 tahun atau lebih jika nilai gas metana masih belum bernilai nol.⁸¹ Grafik dari hasil perhitungan LandGEM otomatis akan terbentuk saat kita sudah memasukkan semua parameter inputnya. Untuk mencari grafik di LandGEM, tekan sheet 'graphs' dan grafik berupa analisis hasil dari LandGEM dapat terlihat disana. Sebenarnya grafik pada LandGEM mencakup tiga satuan, namun yang diinput disini hanya satuan *Megagram per Year*. Seperti yang dapat dilihat pada grafik di bawah ini, karbon dioksida memiliki nilai tertinggi di antara gas rumah kaca lain yang dianalisis.



Gambar 4.12 Hasil Model LandGEM Default CAA-Konvensional

⁸¹ Khoirusyi, Y. (2020). *Potensi Produksi Gas Metana (CH4) dari Kegiatan Landfilling di TPA Lempeni, Kota Banjarbaru dengan Permodelan LandGEM*, 52

D. Estimasi Emisi Gas Rumah Kaca (GRK) dari Penimbunan Sampah(Landfill) dengan Metode IPCC

1. Estimasi Emisi Gas Rumah Kaca di Landfill Kedua TPA Gunung Kupang

Pada perhitungan emisi Gas Rumah Kaca yang dihasilkan dari kegiatan penimbunan sampah (*landfill*), digunakan *spreadsheets* dan *software* IPCC 2006 sebagai metode perhitungannya. Penginputan data yang dilakukan di *software* initerkait dengan beberapa parameter penting. Pada *sheet* 'Parameter', data untuk pemilihan parameter sesuai dengankondisi eksisting TPA Gunung Kupang dan dikutip dari Herlintama (2022) yang dapat dilihat pada penjelasan berikut:

- a. Pemilihan *region* menyesuaikan dengan letak geografis wilayah. Dalam hal ini, Negara Indonesia masuk ke dalam *region Asia-South East*.
- b. *Approach* memiliki pengertian sebagai pendekatan yang digunakan di IPCC dan terbagi menjadi dua. Dalam hal ini, digunakan *approach* berupa *waste by composition* karena adanya data spesifik untuk nilai DOC pada masing-masing komponen sampah.
- c. *Activity Data* dalam hal ini menggunakan pilihan *Tier 1 (Population/GDP)*
- d. *Climate Zone* merupakan pemilihan zona iklim untuk wilayah TPA Gunung Kupang yang menggunakan zona *tropical wet*.
- e. *Starting Year* dipilih dengan menyesuaikan tahun estimasi akan dihitung.
- f. DOC_f yang memiliki pengertian nilai fraksi DOC terdekomposisi menggunakan nilai angka *default* dari IPCC yaitu 0,5. Hal ini dapat diartikan sebanyak 50% dari DOC_m yang tertimbun di TPA akan tetap berada disana untuk jangka waktu panjang.

- g. *Delay Time* memiliki pengertian periode antara pengendapan limbah dan waktu pembentukan CH₄ dan menggunakan angka *default* IPCC yaitu 6 bulan.
- h. F merupakan fraksi gas metan dan menggunakan angka *default* IPCC yaitu sebesar 0,5. Hal ini mengartikan bahwa sebagian besar limbah yang ada di TPA akan menghasilkan emisi CH₄ sebesar 50%.
- i. OX merupakan faktor oksidasi yang menggunakan angka *default* IPCC yaitu 0,1. Angka default 0,1 digunakan karena TPA dikelola dengan berlahan penutup tanah.
- j. DOC merupakan nilai DOC masing-masing komponen sampah didapat dari hasil perkalian antara fraksi karbon organik komponen i dan fraksi berat sampah komponen i.
- k. K merupakan konstanta kecepatan reaksi pembentukan CH₄ yang menggunakan angka default IPCC untuk zona iklim *tropical wet*.
- l. MCF adalah faktor koreksi CH₄ yang menggunakan data *default* IPCC yaitu 0,8. Angka tersebut didapat sesuai kondisi dan jenis TPA (Tabel 2.2) yaitu jenis TPA tidak dikelola dengan baik, dengan kedalaman >5m.
- m. R, yaitu faktor *recovery* CH₄ yang merupakan faktor pemulihan gas CH₄ di TPA. Default untuk nilai R di Indonesia adalah 0.

Zona penimbunan sampah (landfill) dapat menghasilkan emisi GRK, salah satunya yaitu CH₄. Sampah di TPA Gunung Kupang yang tidak diolah lewat pengomposan atau lewat daur ulang akan langsung ditimbun di landfill TPA Gunung Kupang. Jumlah sampah yang ditimbun ke landfill pada tahun 2021 adalah sebesar 53,020133 Gg/tahun. Jika dikonversi, hasilnya akan menjadi 53.020,133 ton/tahun atau setara dengan 53.020.133 kg/tahun.

Nilai tersebut didapatkan dari data real menggunakan metode *weight volume analysis* yang menggunakan jembatan timbang dalam pengukurannya. Dalam penginputan data di *spreadsheets* IPCC, diperlukan data total MSW yang dihasilkan di Kota Banjarbaru dengan perhitungan menggunakan rumus 3.7. Dalam hal ini, timbulan sampah untuk kota sedang memiliki berat 0,70 – 0,80 kg/org/hari. Setelah nilai MSW didapatkan, perhitungan nilai *waste per capita* dapat dilakukan dengan cara pembagian antara MSW pertahun dibagikan dengan jumlah penduduk di tahun tersebut.

Pada sheet '*Activity*' yang terdapat di *spreadsheet* IPCC, penginputan data berupa populasi Kota Banjarbaru dan timbulan sampah yang masuk ke TPA Gunung Kupang dilakukan. Menurut Khoirusyi⁸² perhitungan potensi gas metana di TPA dapat dilakukan dengan beberapa skenario yang terbagi menjadi 3 sesuai dengan sampah masuk dan ditimbun di TPA Gunung Kupang. Berikut ini 3 skenario antara lain adalah:

- a. Skenario 1 berupa sampah yang masuk ke dalam TPA dianggap langsung ditimbun.
- b. Skenario 2 yaitu sampah yang masuk adalah sampah yang telah mengalami proses reduksi di sumber menggunakan metode komposting.
- c. Skenario 3 yaitu sampah yang masuk adalah sampah yang sudah direduksi di sumber dengan metode komposting untuk sampah organik dan daur ulang untuk sampah berupa sampah plastik, kaca dan kertas oleh pemulung.

Pada perhitungan emisi gas metana di penelitian ini menggunakan skenario 3 dengan mempertimbangkan sampah

⁸² Khoirusyi, Y. (2020). *Potensi Produksi Gas Metana (CH₄) dari Kegiatan Landfilling di TPA Lempeni, Kota Banjarbaru dengan Permodelan LandGEM*, 65

masuk ke TPA Gunung Kupang mengalami reduksi berupa sampah organik yang diolah menjadi pupuk kompos dan sampah plastik, kaca serta kertas yang didaur ulang sebelum ditimbun dilandfill. Setelah data timbulan sampah diinput, langkah selanjutnya adalah input data MSW yang sebelumnya telah dihitung dan akan didapatkan nilai total MSW secara otomatis di *spreadsheet*. Untuk pengecekan ulang, nilai MSW yang dihitung dengan rumus 3.7 harus sama dengan hasil total MSW otomatis pada *spreadsheet*. Apabila hasilnya sama, dapat dilanjutkan ke perhitungan selanjutnya yaitu % to *SWDS*.

Perhitungan % to *SWDS* menggunakan cara jumlah timbulan sampah di TPA Gunung Kupang (sudah dikurangi dengan berat sampah yang diolah) dibagi dengan total MSW di Kota Banjarbaru dan dikalikan 100%. Setelah hasilnya didapatkan, nilai tersebut diinput ke dalam nilai % to *SWDS* pada *spreadsheet*, dimana nilai % to *SWDS* menggambarkan berapa persen cakupan pelayanan oleh TPA Gunung Kupang terhadap sampah di Kota Banjarbaru. Selanjutnya penginputan data komposisi sampah di TPA Gunung Kupang. Berikut adalah data yang dibutuhkan untuk input nilai pada *sheet 'Activity'* di *software PCC*.⁸³

⁸³ Herlintama, S. A. (2022). *TUGAS AKHIR Estimasi Emisi Gas Rumah Kaca Pada Pengelolaan Sampah di TPA Basirih Banjarmasin*. 46.

Tabel 4.19 Perhitungan Data Input

| Tahun | Timbulan Sampah Masuk ke TPA Gunung Kupang | Populasi (Jiwa) | MSW Kota Banjarbaru (kg) | Waste per capita (kg/org/thn) | % to SWDS |
|-------|--|-----------------|--------------------------|-------------------------------|-----------|
| | A | B | C | D=C/B | E=A/C*100 |
| 2014 | 29.838.338 | 227.500 | 58.126.250,00 | 255,5 | 51 |
| 2015 | 33.733.610 | 234.371 | 59.881.790,50 | 255,5 | 56 |
| 2016 | 37.824.339 | 241.369 | 61.669.779,50 | 255,5 | 61 |
| 2017 | 42.103.358 | 248.423 | 63.472.076,50 | 255,5 | 66 |
| 2018 | 46.584.477 | 255.597 | 65.305.033,50 | 255,5 | 71 |
| 2019 | 51.238.751 | 262.719 | 67.124.704,50 | 255,5 | 76 |
| 2020 | 49.398.519 | 253.442 | 64.754.431,00 | 255,5 | 76 |

| Tahun | Timbulan Sampah Masuk ke TPA Gunung Kupang | Populasi (Jiwa) | MSW Kota Banjarbaru (kg) | Waste per capita (kg/org/thn) | % to SWDS |
|-------|--|-----------------|--------------------------|-------------------------------|-----------|
| 2021 | 56.838.776 | 258.753 | 66.111.391,50 | 255,5 | 86 |
| 2022 | 61.522.462 | 266.041 | 67.973.475,50 | 255,5 | 91 |
| 2023 | 66.575.661 | 271.500 | 69.368.250,00 | 255,5 | 96 |
| 2024 | 70.055.647 | 276.960 | 70.763.280,00 | 255,5 | 99 |

Pada *sheet 'Amount Deposited'* akan terhitung otomatis yang menghasilkan data berat sampah ditimbun di landfill untuk masing-masing komponen sampah. Data akan sama dengan data komposisi sampah masuk di TPA Gunung Kupang dalam Gg/tahun. Data *sludge* (lumpur) juga dapat diinput secara terpisah disini, meski pada penelitian ini data *sludge* dikosongkan karena TPA Gunung Kupang

yang tidak melayani sampah industri.⁸⁴

Pada *sheet* 'Methane Calculation' perhitungan secara otomatis dilakukan oleh IPCC untuk mendapatkan nilai CH₄ yang terbentuk dari masing-masing komponen sampah. Rumus perhitungan pada persamaan 3.8 sampai dengan 3.13 digunakan untuk menghitung nilai CH₄ yang terbentuk. Hasil akhir dari perhitungan berupa besarnya emisi gas metan di TPA akan disajikan pada *sheet* 'Result'. Persamaan 3.14 akan digunakan dalam perhitungan pada *sheet* ini.⁸⁵

Hasil perhitungan emisi GRK dari kegiatan penimbunan sampah dapat dilihat pada **Tabel 4.20**.

Tabel 4.20 Estimasi Emisi GRK dari Kegiatan Penimbunan Sampah di TPA Gunung Kupang Tahun 2022

| Komposisi | Jumlah Sampah Masuk di TPA (Gg/tahun) | Komposisi Sampah Masuk di TPA (%) | Komposisi Sampah Masuk di TPA (Gg/tahun) | CH ₄ (Gg/tahun) | |
|-----------------|---------------------------------------|-----------------------------------|--|----------------------------|----------------------|
| Sampah dapur | 61,84 | 16,27 | 10,06 | 0,14442 | |
| Sampah kebun | | 14,13 | 8,74 | 0,00614 | |
| Kertas & kardus | | 5,10 | 3,15 | 0,006236 | |
| Karet & kulit | | 13,58 | 8,40 | 0,00000 | |
| Kayu | | 8,90 | 5,51 | 0,00002 | |
| Logam | | 14,94 | 9,24 | 0,00000 | |
| Kaca | | 7,53 | 4,66 | 0,00000 | |
| Tekstil | | 5,06 | 3,13 | 0,00014 | |
| Nappies | | 9,43 | 5,83 | 0,00111 | |
| Plastik | | 4,21 | 2,60 | 0,00000 | |
| Dll | | 0,83 | 0,51 | 0,00000 | |
| TOTAL | | | 100 | 61,84 | 0,15809 = 0,14228 |

Emisi GRK dihasilkan dari kegiatan penimbunan sampah di TPA Gunung Kupang pada tahun 2022 adalah sebesar 0,1423 Gg/tahun. Perbedaan emisi yang dihasilkan dari masing-masing komponen sampah disebabkan oleh perbedaan nilai DOC dari masing-masing komposisi sampah. Jika mengutip dari KLHK,⁸⁶ DOC adalah karakteristik sampah yang mempengaruhi besarnya gas CH₄ terbentuk dan besarnya tergantung dari komposisi (% berat) dan kandungan bahan kering dari masing-masing komponen sampah. Komposisi sampah yang menjadi penyumbang emisi gas rumah kaca sendiri menurut IPCC terbagi menjadi 7, bukannya 11 karena memiliki sifat mudah terdekomposisi sehingga lebih cepat dalam pelepasan emisi berupa gas metana ke udara. Komponen sampah yang dimaksud yaitu: sampah makanan, taman dan kebun, kertas, kayu, tekstil, *nappies* serta karet & kulit.

Karena kegiatan penimbunan merupakan sumber terbesar terbentuknya emisi GRK di TPA, maka ada cara-cara yang dapat mengurangi emisi GRK yaitu salah satunya mengurangi jumlah timbunan sampah yang masuk di landfill TPA. Cara pengomposan⁸⁷ dapat mengurangi emisi gas rumah kaca dari proses penimbunan sampah di TPA. Semakin banyak sampah yang dikomposkan, maka semakin rendah pula emisi gas rumah kaca dari penimbunan sampah karena adanya pengurangan jumlah timbunan sampah yang ditimbun di landfill.

⁸⁶ Kementerian Lingkungan Hidup. (2012). Pedoman Penyelenggaraan Inventarisasi Gas Rumah Kaca Nasional. Jakarta: Kementerian Lingkungan Hidup.

⁸⁷ Anifah, E. M., Rini, I. D. W. S., Hidayat, R., & Ridho, M. (2021). Estimasi Emisi Gas Rumah Kaca (GRK) Kegiatan Pengelolaan Sampah Di Kelurahan Karang Joang, Balikpapan. *Jurnal Sains & Teknologi Lingkungan*, 13(1), 17–33.

Dikutip dari Alkhajar dan Luthfia⁸⁸, sampah plastik merupakan salah satu sumber emisi gas rumah kaca dan sangat berpengaruh terhadap terjadinya perubahan iklim. Pemerintah yang mengetahui hal tersebut tentu tidak tinggal diam dan melakukan salah satu strategi besar dengan bentuk mitigasi berupa pendauran ulang sampah plastik. Apabila kedua strategi ini dilakukan dengan tepat guna, maka emisi gas rumah kaca yang dihasilkan di landfill TPA juga dapat berkurang. Adapun jumlah estimasi emisi gas metana yang dihasilkan di tahun 2021 – 2024 dengan menggunakan proyeksi timbulan sampah tercantum pada tabel di bawah ini:

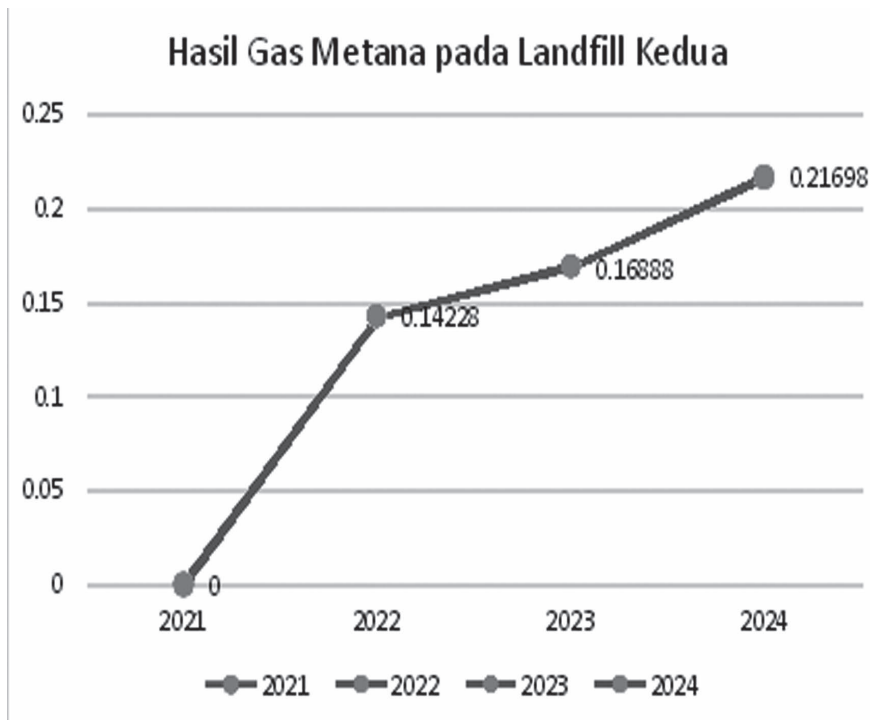
Tabel 4.21 Estimasi Emisi GRK Selama periode 2021-2024 di TPA Gunung Kupang

| Tahun | Timbulan Sampah | Total Emisi CH ₄ |
|-------|-----------------|-----------------------------|
| 2021 | 56.839 | 0,00 |
| 2022 | 61.522 | 0,14228 |
| 2023 | 66.576 | 0,16888 |
| 2024 | 70.056 | 0,21698 |
| TOTAL | | 0,52814 |

Dari data yang tercantum pada tabel di atas, diketahui bahwa terjadi peningkatan emisi CH₄ dari tahun 2022 ke tahun 2024 yang kemudian turun pada tahun 2024. Peningkatan gas metana dapat terjadi karena adanya peningkatan timbulan sampah dihasilkan oleh penduduk Kota Banjarbaru sehingga jumlah sampah masuk dan ditimbun di landfill TPA Gunung Kupang dipastikan akan

⁸⁸ Alkhajar, E. N. S., & Luthfia, A. R. (2020). Daur Ulang Sampah Plastik Sebagai Mitigasi Perubahan Iklim. *Jurnal Penamas Adi Buana*, 4(1), 61–64.

semakin banyak. Grafik landfill TPA Gunung Kupang dari tahun 2021-2024 akan disajikan di bawah:



Gambar 4.13 Grafik Hasil Gas Metana Landfill Kedua Metode IPCC

2. Estimasi Emisi Gas Rumah Kaca di Landfill Pertama TPA Gunung Kupang

Perhitungan estimasi emisi GRK di landfill pertama (lama) TPA Gunung Kupang (2014-2020) menggunakan data timbulan sampah dari periode landfill sampah tahun 2014-2020. Dikarenakan keterbatasan data timbulan dan komposisi sampah pada tahun 2014-2019, maka digunakan data estimasi timbulan sampah yang berasal

dari proyeksi penduduk dan estimasi pelayanan Kota Banjarbaru.⁸⁹

Berdasarkan hasil perhitungan yang dilakukan, maka didapat estimasi emisi GRK di landfill pertama TPA Gunung Kupang selama jangka waktu tahun 2014-2020. ⁹⁰ Hasil perhitungan dapat dilihat pada **Tabel 4.22**.

Tabel 4.22 Estimasi Emisi GRK Selama periode 2014-2020 di TPA Gunung Kupang

| Tahun | Timbulan Sampah | Total Emisi CH ₄ |
|-------|-----------------|-----------------------------|
| 2014 | 29.838 | 0,00 |
| 2015 | 33.734 | 0,09037 |
| 2016 | 37.824 | 0,16401 |
| 2017 | 42.103 | 0,22707 |
| 2018 | 46.584 | 0,28364 |
| 2019 | 51.239 | 0,33651 |
| 2020 | 49.399 | 0,38748 |
| TOTAL | | 1,48908 |

Perhitungan estimasi emisi gas rumah kaca pada landfill pertama dilakukan dengan menggunakan *spreadsheet* IPCC dan *software* IPCC agar hasil yang didapat lebih akurat. Setelah input data-data yang diperlukam, maka didapatkan hasil berupa emisi gas metan tiap tahunnya. Berdasarkan hasil yang didapatkan, *spreadsheet* IPCC dan *software* IPCC menghasilkan nilai besarnya emisi GRK yang sama besar. Hal ini membuktikan bahwa perhitungan sudah benar.

Dapat dilihat pada data, telah terjadi peningkatan emisi gas rumah kaca dari tahun ke tahun dengan rata-rata peningkatan emisi

⁸⁹ Oktafyanza, F. (2019). *Studi Estimasi Emisi Gas Rumah Kaca Pada Pengelolaan Sampah Di Tpa Gunung Kupang Banjarbaru Dengan Metode Intergovernmental Panel On Climate Change (IPCC)*. 43

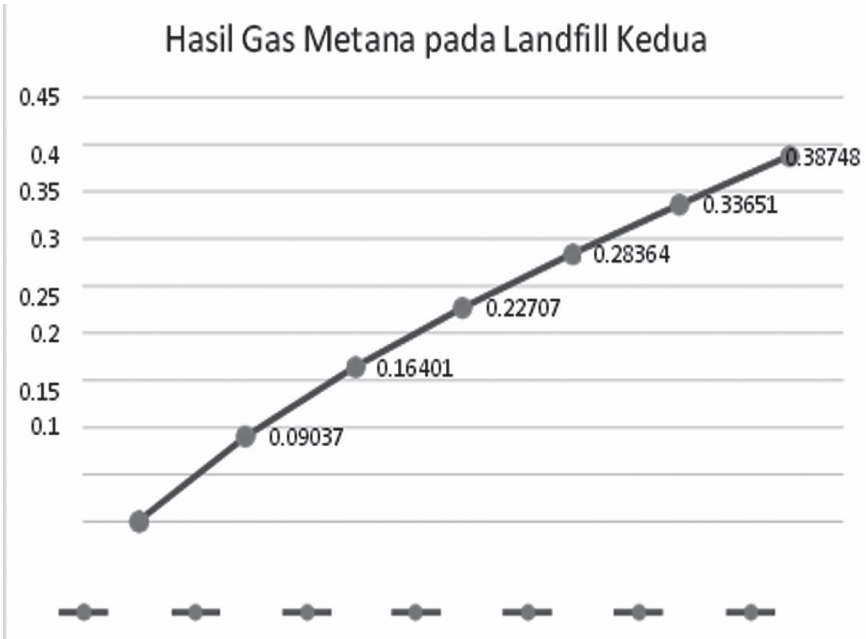
⁹⁰ Agustina, G. M. (2021). *Estimasi Emisi Gas Rumah Kaca di TPA Gunung Kupang Banjarbaru*. 31

GRK di TPA Gunung kupang. Tahun 2015 adalah tahun dengan nilai emisi GRK terendah yang terbentuk di landfill TPA Gunung Kupang sedangkan tahun 2020 merupakan tahun emisi GRK tertinggi terbentuk. Perbedaan nilai emisi GRK terjadi dikarenakan nilai komposisi sampah yang berbeda-beda sehingga persentase sampah organik berbeda serta perbedaan besaran jumlah timbunan sampah yang masuk ke landfill. Besarnya timbunan sampah di tahun sebelumnya mempengaruhi emisi yang dihasilkan di tahun T seperti yang disebutkan di IPCC bahwa bulan ketika reaksi pembentukan gas akan dimulai pada bulan ke-13. Dikutip dari Khatulistiwa dkk.⁹¹ yang menyatakan hubungan antara timbunan sampah dengan emisi gas rumah kaca dimana semakin banyak timbunan sampah yang masuk, maka semakin banyak pula potensi emisi CH₄ yang terbentuk. Semakin banyak kandungan organik pada sampah, maka semakin besar pula potensi jumlah gas metan yang dihasilkan.⁹² Sebaliknya, semakin sedikit kandungan organik pada sampah, maka semakin sedikit pula potensi jumlah gas metan yang dihasilkan dari sampah tersebut.

Grafik perhitungan hasil estimasi emisi gas metan pada landfill sel pertama TPA GunungKupang yang dilakukan dengan software IPCC dan digunakan Tier 2 dalam perhitungannya akan ditampilkan pada gambar di bawah

⁹¹ Khatulistiwa, M. R., Jati, D. R., & Fitria, L. (2016). Inventarisasi Emisi CH₄ di TPA Batu Layang Kota Pontianak Provinsi Kalimantan Barat. *Jurnal Teknologi Lingkungan Lahan Basah*, 4(1), 4.

⁹² Herlintama, S. A. (2022). *TUGAS AKHIR Estimasi Emisi Gas Rumah Kaca Pada Pengelolaan Sampah di TPA Basirih Banjarmasin*, 53



Gambar 4.14 Grafik Hasil Gas Metana Landfill Pertama Metode IPCC

E. Analisis Perbandingan Hasil Estimasi Emisi Gas Rumah Kacapada LandGEM dan IPCC

Pada subbab ini akan dijelaskan mengenai perbandingan hasil estimasi emisi gas rumah kaca pada LandGEM dan IPCC. Kedua metode yang digunakan memiliki perbedaan hasil yang cukup signifikan dimana landfill pertama (2014-2020) TPA Gunung Kupang yang dianalisis menggunakan LandGEM memiliki estimasi produksi gas metana sebanyak 3,96 Gg/tahun sementara pada IPCC estimasi emisi berupa gas metana yang dihasilkan adalah sebesar 1,49 Gg/tahun. Pada landfill kedua TPA Gunung Kupang yang masih digunakan sampai saat ini dan diestimasi akan tutup pada tahun 2024, estimasi gas metan yang dihasilkan dengan

metode LandGEM adalah sebanyak 1,935 Gg/tahun dan dengan metode IPCC adalah sebesar 0,528 Gg/tahun. Selisih perbedaan estimasi gas metan pada landfill pertama adalah 2,47 Gg/tahun dan selisih pada landfill kedua yang masih digunakan sampai sekarang adalah sebesar 1,41 Gg/tahun. Selisih perhitungan antara keduanya cukup jauh.

Perbedaan antara kedua hasil ini bisa dikatakan cukup besar dan signifikan. Analisis paling memungkinkan yang menyebabkan perbedaan kedua estimasi gas metana yang dihasilkan oleh landfill TPA Gunung Kupang baik yang pertama maupun yang kedua disebabkan oleh beberapa faktor, salah satunya adalah faktor perbedaan parameter input dan perbedaan pendekatan yang digunakan. Perbedaan parameter input yang digunakan pada LandGEM maupun IPCC cukup banyak meskipun tak dipungkiri beberapa parameter input ada yang sama. Perbedaan dan persamaan dari parameter input yang menyebabkan bedanya hasil pada LandGEM dan IPCC akan dijelaskan sebagai berikut

1. Perbedaan Parameter Input LandGEM dan IPCC

Parameter input yang digunakan pada LandGEM dan IPCC memiliki perbedaan yang cukup banyak. Kedua metode ini memang memiliki beberapa parameter input yang sama, namun kriteria yang diberikan berbeda. Oleh karena itu, terjadi perbedaan (selisih) antara estimasi gas metan menggunakan metode IPCC dan estimasi gas metan menggunakan metode LandGEM. Beberapa parameter input yang terdapat pada IPCC dan LandGEM akan dijelaskan pada tabel di bawah ini:

Tabel 4.23 Parameter Input IPCC dan LandGEM

| Parameter Input | IPCC | LandGEM |
|--|---|--|
| | LandGEM | |
| Perhitungan Tahun Buka dan Tahun Tutup Landfill | Tidak ada, hanya ada tahun <i>starting year</i> | Ada |
| <i>Waste Design Capacity</i> | Tidak ada | Ada |
| <i>Methane Generation Rate, k (1/year)</i> | Ada, namun <i>methane generation rate</i> pada IPCC berdasarkan kondisi iklim dari daerah penelitian | Ada, namun <i>methane generation rate</i> LandGEM didasarkan pada tipe dan kondisi landfill |
| <i>Potential Methane Generation Capacity, Lo</i> | Tidak ada | Ada |
| Konsentrasi NMOC | Tidak ada, IPCC hanya berfokus pada gas CH ₄ , CO ₂ , N ₂ O dan beberapa gas lain | Ada, karena fokus LandGEM pada 46 emisi yang dihasilkan pada Landfill |
| <i>Methane Content, by volume</i> | Ada, pada IPCC <i>methane content</i> adalah parameter yang bernama <i>Fraction of methane in developed gas (F)</i> | Ada, pada LandGEM <i>methane content</i> hanya mempengaruhi jumlah CO ₂ , namun tidak dengan sebaliknya |
| Timbulan sampah | Ada dengan satuan pada IPCC adalah Gg | Ada, satuan yang dipakai adalah Mg/year atau <i>short tons/year</i> |
| | IPCC | |
| <i>Region</i> | Ada | Tidak Ada |

| | | |
|--------------------------------------|---|---|
| <i>Approach</i> (pendekatan) | Ada, terbagi menjadi dua yaitu <i>waste by composition</i> dan <i>bulk waste data only</i> | Ada, tetapi sudah <i>disetting default</i> menggunakan tier 1 yaitu <i>first order decay equation</i> |
| <i>Activity Data (Tier)</i> | Ada, terbagi menjadi tier yang menggunakan <i>population</i> serta yang hanya menggunakan data nasional | Tidak ada |
| DOC | Ada, bisa menggunakan data default maupun input data hasil penelitian | Tidak Ada |
| DOCf | Data default tapi bisa diubah | Tidak Ada |
| Delay Time (months) | Ada | Tidak Ada |
| Faktor Konversi C ke CH ₄ | Angka <i>default</i> dan tidak bisa diubah yaitu 1,333 | Tidak Ada, tetapi pada LandGEM terdapat tabel konsentrasi (ppmv) dan <i>molecular weight</i> tiap LFG |
| Faktor Oksidasi | Terbagi menjadi dua, apabila landfill tidak berpenutup maka dianggap faktor oksidasi sebesar 0, namun apabila memiliki penutup dianggap 0,1 | Tidak Ada |
| <i>Parameters for Carbon Storage</i> | Ada | Tidak Ada |
| MCF | Ada berdasarkan tipe landfill | Tidak Ada |

| | | |
|---|---|--|
| Tipe komposisi sampah | Ada, terbagi menjadi <i>Municipal Solid Waste (MSW)</i> dan <i>Industrial Waste</i> | Tidak Ada |
| Populasi | Ada, dengan satuan <u>juta</u> | Tidak Ada, tetapi padalPCC 3 parameter input ini digunakan untuk menentukan timbulan sampah masuk ke TPA Gunung Kupang dan jumlah MSW Kota Banjarbaru, pada LandGEM sudah ditentukan dan diinputtimbulan sampah masuk TPA Gunung Kupang berdasarkan perhitungan IPCC |
| <i>Waste Per Capita</i> (kg/cap/year) | Ada | |
| % to SWDS | Ada, berupa persen pelayanan TPA terhadap jumlah sampah di suatu wilayah | |
| Komposisi komponen sampah yang memiliki nilai DOC | Ada | Tidak Ada |
| Jumlah <i>Sludge</i> (apabila ada) | Ada, namun disesuaikan dengan kondisi TPA | Tidak Ada |
| Bulan ketika reaksi terjadi | Ada, berupa angka <i>default</i> yaitu bulan ke 13 | Tidak Ada |

| Parameter <i>default</i> (k) tiap komponen | Ada | Tidak Ada |
|--|-----|---|
| <i>Methane Recovery</i> | Ada | Tidak Ada, pada LandGEM hanya tersedia <i>methane generation rate</i> , <i>recovery</i> bisa didapatkan dengan cara mengalikan jumlah metana yang dihasilkan dengan efisiensi penggunaan kembali metana (<i>Collection</i>) |

Dari penjelasan pada tabel di atas, parameter yang sama pada IPCC dan LandGEM hanya ada pada parameter input *methane generation rate* (k), *methane content* dan jumlah timbulan sampah. Meski parameter inputnya sama, angka defaultnya didasarkan pada kriteria yang berbeda. Akibat dari hal ini, tentu saja hasil estimasi emisi gas metana yang dihasilkan cukup berbeda. Kedua *software* sama-sama bisa menggunakan angka *default* dan angka hasil penelitian. Selain dari perbedaan parameter input, perbedaan pendekatan dan rumus yang digunakan LandGEM dan IPCC menjadi alasan lainnya dimana akan dibahas pada subbab selanjutnya.

2. Perbedaan Pendekatan dan Rumus LandGEM dan IPCC

Pendekatan yang dipakai oleh LandGEM adalah berupa metode triangular dengan cara timbulan sampah yang diinput menyesuaikan dengan tahun buka dan tahun tutup landfill. Apabila landfill masih diperkirakan tahun tutupnya karena masih beroperasi, maka proyeksi timbulan sampah digunakan pada input software ini. Sementara pada IPCC, timbulan sampah yang diinput bisa per

tahun ataupun selama beberapa tahun sesuai dengan *starting year* dan *preference year* yang dipilih sehingga tidak terikat dengan tahun buka maupun tahun tutup landfill.

Rumus pada perhitungan gas metan yang dihasilkan pun berbeda dengan satuan yang berbeda pula meskipun salah satusatuan pada LandGEM adalah Mg/tahun dan satuan pada IPCC adalah Gg/tahun dan bisa dikonversikan satu sama lain. Rumus perhitungan gas metan pada LandGEM adalah seperti yang telah dijelaskan pada rumus 3.6. Rumus dan perhitungan pada LandGEM didapatkan dari panduan resmi LandGEM sementara rumus IPCC didapatkan dari *spreadsheet* asli milik IPCC yang digunakan sebagai salah satu metode menghitung estimasi emisi gas rumah kaca menggunakan IPCC selain *software*nya. Rumus yang digunakan dalam perhitungan gas metan di *software* IPCC sendiri cukup banyak, seperti yang telah dijelaskan pada rumus 3.8 – 3.14. LandGEM menggunakan semua parameter input yang digunakan pada rumus 3.8 ini, namun IPCC menggunakan rumus-rumus lain dalam perhitungan tiap *sheet* di IPCC. Rumus 3.8 – 3.14 hanya digunakan pada *sheet methane calculations* saja.

2. Perbandingan Estimasi Gas Metana di Landfill dari Tahun 2014-2024

Perbandingan emisi gas metana di landfill dari tahun 2014-2024 dengan metode LandGEM dan IPCC dianalisis dengan tujuan mengetahui apa saja yang menyebabkan perbedaan kadar gas metana dari tahun ke tahun. Pada data di bawah, landfill tetap dianggap terbagi menjadi dua yaitu landfill pertama pada tahun 2014-2020 dan landfill kedua pada tahun 2021-2024 sehingga estimasi gas metana pada tahun 2014 dan tahun 2021 dianggap 0 karena belum terjadinya reaksi anaerob pada landfill. Tidak terjadinya reaksi

anaerob menyebabkan gas metana masih belum terbentuk. Data selengkapnya akan disajikan pada tabel di bawah:

Tabel 4.24 Perbandingan Estimasi Gas Metana yang Dihasilkan Landfill Tahun 2014-2024 dengan Metode LandGEM dan IPCC

| Tahun | Estimasi Gas Metana yang Dihasilkan (Gg) | |
|-------|--|------|
| | LandGEM | IPCC |
| 2014 | 0 | 0 |
| 2015 | 0,17 | 0,09 |
| 2016 | 0,34 | 0,16 |
| 2017 | 0,54 | 0,23 |
| 2018 | 0,74 | 0,28 |
| 2019 | 0,97 | 0,34 |
| 2020 | 1,20 | 0,39 |
| 2021 | 0 | 0 |
| 2022 | 0,32 | 0,14 |
| 2023 | 0,64 | 0,17 |
| 2024 | 0,98 | 0,22 |

Dapat dilihat pada data dari tabel di atas, pada tahun 2014-2020, estimasi produksi gas metana yang dihasilkan dari landfill TPA Gunung Kupang mengalami kenaikan tiap tahunnya. Kenaikan estimasi gas metana dihasilkan di landfill baik pada LandGEM maupun IPCC dikarenakan jumlah penduduk yang makin banyak dan mengakibatkan timbulan sampah yang dihasilkan pun makin banyak. Selain itu faktor pelayanan pada TPA yang diestimasi akan meningkat, memberikan dampak berupa makin banyak pula sampah yang diangkut ke TPA tiap tahunnya. Apabila dianggap reduksi sampah sebelum ditimbun pada TPA hanya mengalami sedikit kenaikan, maka timbulan sampah yang ditimbun di landfill juga makin banyak.

Perbedaan paling mencolok dari metode LandGEM dan IPCC yaitu dari segi pendekatan dan perhitungan menggunakan software dimana terdapat rumus manual yang cukup berbeda. Rumus manual pada IPCC yang sebelumnya telah dijelaskan pada bagian metode penelitian dan ada contoh perhitungannya pada Lampiran E, memiliki perbedaan dengan rumus manual LandGEM. Meski memiliki perbedaan, rumus IPCC dan LandGEM juga memiliki persamaan berupa K (methane generation rate) dan faktor L_0 (potential methane capacity). Pada metode IPCC rata-rata methane generation rate yang memiliki nilai sebesar $0,21 \text{ year}^{-1}$ lebih besar dibandingkan dari metode LandGEM parameter CAA default konvensional yang memiliki methane generation rate sebesar $0,05 \text{ year}^{-1}$. Faktor L_0 pada LandGEM untuk parameter CAA Default konvensional memiliki nilai sebesar $170 \text{ m}^3/\text{Mg}$ sementara pada IPCC yang nilai L_0 rata-ratanya didapatkan setelah pengalihan nilai DOC dan DOC_f memiliki nilai sebesar $0,0287 \text{ m}^3/\text{Mg}$. Apabila dikalikan, hasil dari $K \times L_0$ pada IPCC memiliki nilai sebesar $0,006027 \text{ Gg C/Gg}$ sementara LandGEM memiliki hasil sebesar $8,5 \text{ m}^3/\text{Mg} \cdot \text{year}$. Konversi hasil $K \times L_0$ pada IPCC menjadi Mg adalah sebesar $6,027 \text{ Gg C/Mg}$.

Pada IPCC, terdapat beberapa faktor di dalam rumus manual IPCC seperti nilai MCF dan nilai F (faktor recovery CH_4) yang membuat estimasi gas metan yang dihasilkan di landfill menjadi lebih kecil dari sebelumnya. Sementara pada LandGEM terdapat beberapa faktor di dalam rumus yang mempengaruhi besarnya nilai estimasi gas metan pada LandGEM bahkan rata-rata 100% lebih besar dari nilai IPCC. Faktor-faktor tersebut yaitu yang merupakan perhitungan tahun penutupan landfill TPA dikurangi dengan tahun pembukaan landfill TPA. Selain itu, nilai K (methane generation rate)

yang menjadi pembagi pada nilai default e menjadi alasan estimasi gas metan di LandGEM lebih besar dari estimasi gas metan melalui perhitungan pada metode IPCC.

Estimasi produksi gas metana pada tahun 2021-2024 baik pada LandGEM dan IPCC juga sama-sama mengalami kenaikan. Hal ini tentu disebabkan juga karena adanya kenaikan penduduk dan persentase pelayanan. Selisih kenaikan antara tahun 2021-2024 baik dari LandGEM maupun IPCC memang cukup berbeda dengan landfill pertama total selisih adalah sebesar 2,47 Gg/tahun dan landfill kedua hanya sebesar 1,41 Gg/tahun. Namun karena sama-sama memiliki perbedaan hasil yang cukup tinggi, hal ini menyimpulkan antara kedua metode memang memiliki perbedaan yang cukup banyak sehingga dapat menyebabkan perbedaan hasil cukup besar.

Mengacu dari hasil ini, perbandingan antara LandGEM dan IPCC dapat dianggap valid. Hal ini karena baik dari selisih estimasi gas metan yang diproduksi tiap tahunnya sama-sama mengalami kenaikan, kedua metode ini juga memiliki parameter input yang berbeda namun memiliki persamaan yaitu ditujukan untuk analisis gas metan pada landfill. Hasilnya yang jauh berbeda antara metode LandGEM dan IPCC pada tahun yang sama seperti telah dijelaskan dikarenakan adanya perbedaan rumus dan parameter input yang digunakan. Meski hasilnya berbeda, kedua metode sama-sama menunjukkan adanya selisih berupa kenaikan estimasi produksi gas metan pada tiap tahun.

BAB VI

KEBIJAKAN

PENGELOLAAN SAMPAH

A. Kebijakan

Kebijakan merupakan terjemahan dari kata policy yang berasal dari bahasa Inggris. Kata policy diartikan sebagai sebuah rencana kegiatan atau pernyataan mengenai tujuan-tujuan, yang diajukan atau diadopsi oleh suatu pemerintahan, partai politik, dan lain-lain. Kebijakan juga diartikan sebagai pernyataan-pernyataan mengenai kontrak penjaminan atau pernyataan tertulis. Pengertian ini mengandung arti bahwa yang disebut kebijakan adalah mengenai suatu rencana, pernyataan tujuan, kontrak penjaminan dan pernyataan tertulis baik yang dikeluarkan oleh pemerintah, partai politik, dan lain-lain. Dengan demikian siapapun dapat terkait dalam suatu kebijakan.

Secara etimologi, istilah kebijakan berasal dari kata “bijak” yang berarti “selalu menggunakan akal budidaya; pandai; mahir”.⁹³ Selanjutnya dengan memberi imbuhan ke- dan - an, maka kata kebijakan berarti “rangkaihan konsep dan asas yang menjadi garis besar dan dasar rencana dalam pelaksanaan suatu pekerjaan, kepemimpinan. Pengertian di atas setidaknya memberikan dua

⁹³ Departemen Pendidikan Nasional, Kamus Besar Bahasa Indonesia, (Jakarta : Balai Pustaka, 2002), hlm. 13

point penting yang perlu dipahami, yaitu: pertama, pengambilan keputusan mesti didasarkan kepada pertimbangan-pertimbangan logis sehingga dapat diterima oleh semua pihak yang menjadi sasaran keputusan tersebut. Kedua, pengambilan keputusan yang pada gilirannya melahirkan satu atau lebih keputusan dapat dijadikan sebagai garis-garis besar untuk melakukan suatu pekerjaan, profesi atau kepemimpinan.

Kebijakan menurut David Easton ialah keputusan yang diambil oleh pemerintah atau masyarakat atau anggota kelompoknya secara keseluruhan.⁹⁴ Sedangkan menurut Lasswell dan Kaplan kebijakan adalah alat untuk mengapai tujuan praktek.

Henz Eulau dan Kenneth Previt merumuskan kebijakan sebagai keputusan yang tetap, ditandai oleh kelakuan yang berkesinambungan dan berulang-ulang pada mereka yang membuat kebijakan dan yang yang melaksanakan kebijakan yang telah dibuat.⁹⁵

Carl J. Federick sebagaimana dikutip Leo Agustino mendefinisikan kebijakan sebagai serangkaian tindakan/ kegiatan yang diusulkan seseorang, kelompok atau pemerintah dalam suatu lingkungan tertentu di mana terdapat hambatan-hambatan (kesulitan-kesulitan) dan kesempatan-kesempatan terhadap pelaksanaan usulan kebijaksanaan tersebut dalam rangka mencapai tujuan tertentu.⁹⁶ Pengertian lain mengenai kebijakan dikemukakan oleh M. Irfan Islamy. Ia memberikan pengertian kebijakan sebagai

⁹⁴ Said Zainal Abidin, Kebijakan Publik, (Jakarta : Yayasan Pancur Siwa, 2004), hlm. 20

⁹⁵ Hesel Nogi S dan Tangkilisan, Kebijakan Publik Yang Membumi, (Yogyakarta : YPAPI dan Lukman Offset, 2003), hlm. 3

⁹⁶ Leo Agustino, Dasar-Dasar Kebijakan Publik (Bandung: Afabeta , 2008), 7.

serangkaian tindakan yang ditetapkan dan dilaksanakan atau tidak dilaksanakan oleh pemerintah yang mempunyai tujuan atau berorientasi pada tujuan tertentu demi kepentingan seluruh masyarakat. Kebijakan yang dikemukakan oleh Irfan Islamy ini mencakup tindakan-tindakan yang ditetapkan pemerintah. Kebijakan ini tidak cukup hanya ditetapkan tetapi dilaksanakan dalam bentuk nyata. Kebijakan yang ditetapkan oleh pemerintah tersebut juga harus dilandasi dengan maksud dan tujuan tertentu. Terakhir, pengertian Irfan Islamy meniscayakan adanya kepentingan bagi seluruh masyarakat yang harus dipenuhi oleh suatu kebijakan dari pemerintah.⁹⁷

Dalam mengambil sebuah kebijakan maka diperlukan tahap-tahap pengambilan kebijakan tersebut. Tahap-tahap pengambilan kebijakan inimerupakan prinsip-prinsip yang perlu diperhatikan dalam pengambilan kebijakan. Prinsip-prinsip dasar dari permasalahan kebijakan ini merupakan sebuah proses analisa kebijakan yang akan diterapkan.⁹⁸

Kebijakan atau keputusan dapat dilihat menurut bidang tertentu dimana kebijakan itu di keluarkan, antara lain adalah

1. Kebijakan Publik : Suatu ruang dalam kehidupan yang bukan privat atau murni milik individual, tetapi milik bersama atau milik umum, dan dibutuhkannya sebuah aturan atau intervensi oleh pemerintah atau aturan sosial, atau setidaknya oleh tindakan bersama dalam mengatur dan menata kehidupan masyarakatnya. Atau kebijakan yang dikeluarkan pemerintah

⁹⁷ M Irfan Islamy, Prinsip-prinsip Perumusan Kebijakan Negara (Jakarta: Bumi Aksara, 2009)

⁹⁸ William N. Dunn, Analisa Kebijakan Publik, (Yogyakarta : Hanindita Graha Widya, 1999), hlm. 72⁷ Wayne Parson, Public Policy, (Jakarta : Prenada Media, 2005), hlm. 3

bagi masyarakat yang memiliki kewenangan yang dapat memaksa masyarakat untuk mematuhi.

2. Kebijakan Ekonomi : Kebijakan yang dikeluarkan pemerintah untuk mengatasi permasalahan ekonomi yang terjadi di tengah-tengah masyarakat.
3. Kebijakan Pertahanan dan Keamanan : Kebijakan dari pemerintah untuk menjaga dan melindungi bangsa dan negara dari gangguan baik itu dari dalam negeri maupun dari luar negeri.
4. Kebijakan Politik : Keputusan yang dikeluarkan untuk mengatur dan menjalankan tiap- tiap bentuk dan pembagian kekuasaan dalam masyarakat. Kebijakan politik merupakan sebuah keputusan yang dibuat untuk mengatur dan menjalankan tiap-tiap bentuk dan pembagian kekuasaan dalam kehidupan masyarakat. Kebijakan Politik dibentuk untuk :
 - a. Menyelesaikan perselisihan dengan damai dan secara melembaga.
 - b. Menjamin terselenggaranya perubahan secara damai dalam suatu masyarakat yang sedang berubah.
 - c. Menyelenggarakan pergantian pemimpin secara teratur.
 - d. Membatasi pemakaian kekerasan sampai minimum.
 - e. Mengakui serta meanggap wajar adanya keberagaman.
 - f. Menjamin tegaknya keadilan.⁹⁹

Dalam membuat dan menerapkan kebijakan ada beberapa prinsip yang harus diperhatikan yakni :

1. Adanya tujuan, yakni adanya sebuah tujuan yang ingin di capai, melalui usaha-usaha yang telah di sepakati dengan bantuan faktor pendukung yang ada atau yang diperlukan.

⁹⁹ Mirriam Budiharjo, Dasar-dasar Ilmu Politik, (Jakarta : Gramedia Pustaka Utama, 1992), hlm. 62

2. Adanya rencana yang merupakan alat atau cara tertentu untuk mencapainya.
3. Adanya program, yaitu cara yang telah disepakati dan mendapat persetujuan serta pengesahan untuk mencapai tujuan yang dimaksud.
4. Adanya keputusan, yaitu tindakan tertentu yang diambil untuk menentukan tujuan, membuat dan menyesuaikan rencana, melaksanakan dan mengevaluasi program yang sudah ada.
5. Dampak, yakni pengaruh yang terjadi atau timbul dari suatu program dalam masyarakat¹⁰⁰

Carl J. Federick sebagaimana dikutip Leo Agustino mendefinisikan kebijakan sebagai serangkaian tindakan/ kegiatan yang diusulkan seseorang, kelompok atau pemerintah dalam suatu lingkungan tertentu di mana terdapat hambatan-hambatan (kesulitan-kesulitan) dan kesempatan-kesempatan terhadap pelaksanaan usulan kebijaksanaan tersebut dalam rangka mencapai tujuan tertentu.¹⁰¹ Pengertian lain mengenai kebijakan dikemukakan oleh M. Irfan Islamy. Ia memberikan pengertian kebijakan sebagai serangkaian tindakan yang ditetapkan dan dilaksanakan atau tidak dilaksanakan oleh pemerintah yang mempunyai tujuan atau berorientasi pada tujuan tertentu demi kepentingan seluruh masyarakat. Kebijakan yang dikemukakan oleh Irfan Islamy ini mencakup tindakan-tindakan yang ditetapkan pemerintah. Kebijakan ini tidak cukup hanya ditetapkan tetapi dilaksanakan dalam bentuk nyata. Kebijakan yang ditetapkan oleh pemerintah

¹⁰⁰ Said Zainal Abidin, *Kebijakan Publik*, (Jakarta : Yayasan Pancur Siwa, 2004), hlm. 21

¹⁰¹ Leo Agustino, *Dasar-Dasar Kebijakan Publik* (Bandung:Afabeta , 2008), 7.

tersebut juga harus dilandasi dengan maksud dan tujuan tertentu. Terakhir, pengertian Irfan Islamy meniscayakan adanya kepentingan bagi seluruh masyarakat yang harus dipenuhi oleh suatu kebijakan dari pemerintah.¹⁰²

B. Kebijakan Pengelolaan Sampah

Implementasi kebijakan dalam hal pengelolaan sampah merupakan hal yang penting untuk diperhatikan jika memang kita tidak ingin wilayah kita menjadi lautan sampah. Berbagai upaya pun dilakukan pemerintah, seperti mencanangkan program 3R yakni *Reduce*, *Reuse* dan *Recycle* perwujudan program ini bergantung pada partisipasi masyarakat. Salah satu metode yang digunakan untuk mengatasi masalah sampah yakni mensosialisasikan pengelompokan sampah, Namun entah kenapa cara ini tidak pernah berhasil di Indonesia. Kurangnya kesadaran dan partisipasi masyarakat dirasakan menjadi persoalan utama. Masyarakat masih menyepelekan masalah sampah ini terbukti dengan masih banyaknya orang yang membuang sampah sembarangan yang mengakibatkan lingkungan menjadi tercemar.

Undang – undang nomor 8 tahun 2018 tentang penyelenggaraan pengelolaan sampah secara terpadu dan komprehensif mengatur bahwa pemenuhan hak dan kewajiban masyarakat, serta tugas dan wewenang Pemerintah dan pemerintahan daerah untuk melaksanakan pelayanan publik. Pengaturan hukum pengelolaan sampah dalam Undang-Undang ini berdasarkan asas tanggung jawab, asas berkelanjutan, asas manfaat, asas keadilan, asas kesadaran, asas kebersamaan, asas keselamatan, asas keamanan, dan asas nilai ekonomi. Amanat tersebut menganut makna bahwa

¹⁰² M Irfan Islamy, Prinsip-prinsip Perumusan Kebijakan Negara (Jakarta: Bumi Aksara, 2009)

Negara berhak mengatur tentang permasalahan sosial yang ada di kehidupan masyarakat.

Dalam konteks pengelolaan persampahan yang ada, pemerintah sendiri mempunyai inisiatif dalam pengelolaan ini, agar supaya dalam pelayanan publik pengelolaan persampahan ini bisa terselesaikan dengan baik. Dalam pengelolaan persampahan yang ada, yang menjadi permasalahan masyarakat dewasa ini pemerintah sendiri telah mengeluarkan kebijakan untuk penanganan persampahan yang ada. Kebijakan yang dikeluarkan oleh pemerintah sendiri di buktikan dengan undang – undang nomor 8 tahun 2018 tentang penyelenggaraan pengelolaan sampah.

Sejalan dengan pertumbuhan penduduk, maka produksi sampah juga meningkat, oleh karena itu efektivitas pengolahan sampah harus ditingkatkan. Pengelolaan persampahan suatu kota bertujuan untuk melayani sampah yang dihasilkan penduduknya, yang secara langsung turut memelihara kesehatan masyarakat serta menciptakan suatu lingkungan yang bersih. Saat ini pengelolaan persampahan menghadapi banyak tekanan terutama akibat semakin besarnya timbulan sampah yang dihasilkan masyarakat baik produsen maupun konsumen.

Berbagai upaya yang di lakukan untuk menangani pengelolaan sampah, namun upaya tersebut kerap menjadi kendala, serta warga yang belum disiplin dengan membuang sampah seenaknya. Salah satu yang menimbulkan masalah pengelolaan persampahan berupa besarnya biaya untuk menangani pengelolaan persampahan, besarnya biaya untuk menangani persampahan mulai dari pengumpulan, pengangkutan sampai dengan pembuangan sampah di tempat pembuangan akhir (TPA).

Hal yang mendasar dalam pengelolaan sampah ini adalah sangat kompleks dan bersifat dinamis. Disebut kompleks karena melibatkan banyak pihak yang berkepentingan seperti pemerintah, masyarakat, industri, pedagang dan LSM. Dinamis karena volume timbunan sampah akan berubah seiring dengan perubahan waktu. Kenyataan ini menyebabkan penanganan sampah tidak dapat dilakukan hanya dengan pendekatan teknis (mulai dari pewadahan, pengumpulan, pengangkutan sampai pengolahan di TPA) tetapi harus dilakukan secara menyeluruh dengan melibatkan masyarakat sebagai sumber utama penghasil sampah.

Undang-undang Nomor 18 tahun 2008 tentang Pengelolaan Sampah dan Peraturan Pemerintah Nomor 81 tahun 2012 tentang Pengelolaan Sampah Rumah Tangga Dan Sampah Sejenis Sampah Rumah Tangga. Kedua perundang-undangan tersebut membawakan perubahan-perubahan sangat mendasar dalam pengelolaan sampah, baik menyangkut keseluruhan cara berpikir (*mindset*), orientasi dan spirit serta konsepsi kebijakan pengelolaan sampah. Berdasarkan perubahan-perubahan tersebut, pengelolaan sampah kemudian menghasilkan banyak agenda perubahan kebijakan dalam pengelolaan sampah, yang tentunya harus diacu oleh setiap daerah dalam kebijakan pengelolaan sampah di daerahnya masing-masing.

Perubahan yang paling utama adalah perubahan paradigma kebijakan pengelolaan sampah, yang merujuk pada paradigma transformasi. Diantaranya adalah menyangkut ideologi kebijakan, orientasi dan spirit kebijakan serta basis konsep kebijakan pengelolaan sampah. Spirit dalam Undang-undang No 18 Tahun 2008 Tentang Pengelolaan Sampah dan Peraturan Pemerintah No 81 Tahun 2012 mengisyaratkan Pengelolaan sampah tidak lagi menghendaki adanya eksklusifitas kebijakan pengelolaan sampah

oleh satu pihak tertentu saja. Masyarakat luas dan dunia usaha diposisikan juga mempunyai kedaulatan yang sama pentingnya dengan pemerintah, sehingga harus ikut berperan dan bertanggung jawab dalam pengelolaan sampah.

Efektifitas pengelolaan sampah hanya dapat dicapai melalui 3 (tiga) pilar, yaitu pemerintah, masyarakat luas dan dunia usaha yang bekerja secara integral (terpadu), komprehensif (menyeluruh) dan mutualistik (saling menguntungkan). Secara implisit konsep ini mengusung asas kegotong-royongan dalam pengolahan sampah sebagai salah satu modal sosial yang strategis. Hal ini berbeda dibandingkan pengelolaan yang selama ini lebih didominasi oleh pihak pemerintah saja. Regulasi persampahan juga menekankan orientasi pada tujuan, yaitu melindungi masyarakat dan lingkungan hidup dari bahaya pencemaran dan bencana sampah sebagaimana diamanatkan juga dalam UUD 1945 pasal 28 H yakni setiap orang berhak mendapatkan lingkungan hidup yang baik dan sehat. Hal ini sangat berbeda dengan kebijakan pengelolaan sampah sebelumnya yang berorientasi pada masalah yaitu menangani sampah dalam rangka mengatasi masalah kebersihan lingkungan (utamanya lingkungan kota). Undang-Undang Pengelolaan Sampah juga memiliki spirit penyelamatan masyarakat (secara luas) dan lingkungan hidup tidak sekedar hanya kebersihan lingkungan saja.

BAB VII

KEBIJAKAN RENCANA STRATEGIS PENGELOLAAN SAMPAH

A. Penyusunan Rencana Strategis Pengelolaan Sampah

Aspek ini meliputi beberapa kegiatan yaitu perencanaan strategis, kerangka peraturan dan kebijakan, partisipasi masyarakat, manajemen keuangan, pengembangan kapasitas institusi, serta penelitian dan pengembangan (termasuk di dalamnya pemeriksaan dan tindakan perbaikan). Konsep rencana pengelolaan sampah perlu dibuat dengan tujuan untuk mengembangkan suatu sistem pengelolaan sampah yang modern, dapat diandalkan dan efisien dengan teknologi yang ramah lingkungan. Dalam sistem tersebut harus dapat melayani seluruh penduduk, meningkatkan standar kesehatan masyarakat dan memberikan peluang bagi masyarakat dan pihak swasta untuk berpartisipasi aktif.

Pendekatan yang digunakan dalam konsep rencana pengelolaan sampah ini adalah “meningkatkan sistem pengelolaan sampah yang dapat memenuhi tuntutan dalam paradigma baru pengelolaan sampah”. Untuk itu perlu dilakukan usaha untuk mengubah cara pandang “sampah dari bencana menjadi berkah”. Hal ini penting karena pada hakikatnya pada timbunan sampah itu kadang-kadang masih mengandung komponen-komponen yang sangat bermanfaat dan memiliki nilai ekonomi tinggi namun karena tercampur secara

acak maka nilai ekonominya hilang dan bahkan sebaliknya malah menimbulkan bencana yang dapat membahayakan lingkungan hidup.

Dalam rencana pengelolaan sampah perlu adanya metode pengolahan sampah yang lebih baik, peningkatan peran serta dari lembaga-lembaga yang terkait dalam meningkatkan efisiensi dan efektivitas pengelolaan sampah, meningkatkan pemberdayaan masyarakat, peningkatan aspek ekonomi yang mencakup upaya meningkatkan retribusi sampah dan mengurangi beban pendanaan pemerintah serta peningkatan aspek legal dalam pengelolaan sampah.

Sistem pengelolaan persampahan yang dikembangkan harus merupakan sistem pengelolaan yang berbasis pada masyarakat yang dimulai dari pengelolaan sampah di tingkat rumah tangga. Para pemulung dapat ditingkatkan harkat dan martabatnya menjadi mitra tetap pada industri kecil pengolah bahan sampah menjadi bahan baku. Dana untuk membayar imbalan dari para pegawai/petugas yang terlibat dalam kebersihan kota dapat diperoleh dari iuran warga (retribusi tetap dilakukan) ditambah dari hasil keuntungan dari pemrosesan bahan sampah.

Pemain dan partner dalam pengelolaan sampah, mulai dari pengguna jasa (rumah tangga, pasar, industri, organisasi), penyedia layanan kebersihan (RT/RW, pemerintah, perusahaan swasta), pendaur ulang (pemulung, pemilik lapak dan pabrik pengguna bahan daur ulang), dan produsen dan pengguna pupuk kompos, membuat masalah sampah bukan hanya menjadi urusan Dinas Kebersihan atau instansi lainnya di daerah, tapi menjadi urusan dan kepentingan semua pihak.

B. Perumusan Strategi Pengelolaan Sampah

Undang-Undang Pengelolaan Sampah, jelas mengamanatkan kepada pemerintah beserta pihak-pihak terkait lainnya untuk proaktif dan lebih responsif terhadap permasalahan pengelolaan sampah dengan kebijakan-kebijakan yang strategis dan partisipatif bagi masyarakat. Akan tetapi realitas yang terjadi saat ini menunjukkan kontradiksi antara tindakan yang dilakukan pemerintah dengan semangat yang terkandung dalam undang-undang tersebut, ini terindikasi dari rendahnya kesadaran aparatur pemerintahan beserta *stakeholder* lainnya terhadap perannya dalam penanganan persampahan sebagai upaya mewujudkan kualitas lingkungan hidup yang baik dan berwawasan lingkungan, inefektifitas instrumen hukum dalam mengarahkan pola perilaku masyarakat untuk berkoordinasi dengan pemerintah dalam penanganan sampah, serta menurunnya kualitas pengelolaan Tempat Pembuangan Akhir (TPA) yang ditandai dengan berubahnya sistem pengelolaan TPA dari *sanitary landfill* menjadi *open dumping*.

Pemerintah beserta *stakeholder* lainnya dalam hal ini diharapkan mampu mensinergikan dan mengoptimalkan kembali kebijakan dan strategi pengelolaan sampah agar menjadi stimulus bagi masyarakat dalam mengembangkan pola perilaku yang berwawasan lingkungan, dalam artian setiap tindakan yang dilakukan baik oleh pemerintah maupun masyarakat senantiasa didasarkan pada prinsip-prinsip pemeliharaan dan perlindungan terhadap lingkungan hidup.

Berdasarkan uraian di atas menunjukkan kadar kompleksitas permasalahan yang dihadapi oleh pemerintah, *stakeholder*, dan masyarakat dalam menangani sampah terletak secara eks-plisit pada pengaplikasian paradigma yang tidak lagi akomodatif dan responsif terkait penanganan sampah serta pelaksanaan (*enforcement*) yang

belum maksimal terhadap regulasi-regulasi mengenai penanganan sampah. Dalam hal ini perlu adanya sebuah komitmen yang kuat dan terobosan yang bersifat kreatif-inovatif dari semua pihak untuk mengoptimalkan perangkat regulasi mengenai penanganan dan pembagunan sampah yang berwawasan lingkungan serta merubah paradigma yang sudah tidak mempunyai relevansi dalam konteks membangun kesadaran pemerintah, *stakeholder* terkait, dan masyarakat dalam menghadapi problematika sampah.

C. Pelaksanaan Strategi Pengelolaan Sampah

Pola pengelolaan sampah yang dilaksanakan saat ini belum tercapai pola pengelolaan terpadu dari masyarakat sebagai penghasil sampah dan pemerintah sebagai penyedia dan pengelola sarana persampahan. Dari sisi masyarakat masih terbentuk persepsi bahwa sampah adalah bahan yang sudah tidak terpakai dan telah menjadi kewajiban pihak pemerintah untuk mengelolanya dan membersihkannya.

Pola pendekatan baru dalam pengelolaan sampah saat ini telah di konsepskan dalam Peraturan Menteri Pekerjaan Umum No. 21/PRT/M/2006 tentang Kebijakan dan Strategi Nasional Pengembangan Sistem Pengelolaan Persampahan (KSNP-SPP). Kebijakan Nasional tersebut merupakan reaksi atas pengelolaan sampah di waktu sebelumnya yang dilaksanakan secara konvensional dan terkesan adanya sekat pemisah antara masyarakat sebagai produsen sampah dan peran pemerintah sebagai pengelola persampahan.

Dalam Kebijakan dan Strategi Nasional Pengembangan Sistem Pengolahan Persampahan yang terkait dengan tema perilaku pengelolaan sampah disebutkan antara lain, kebijakan pengurangan sampah semaksimal mungkin dimulai dari sumbernya dengan

pola meningkatkan pemahaman kepada masyarakat tentang upaya 3R (*reduce, reuse, recycle*) dan mengembangkan sistem *insentif* dan *disinsentif*. Dalam hal partisipasi masyarakat kebijakan yang dituangkan adalah meningkatkan pemahaman sejak dini, menyebarluaskan pemahaman tentang sampah kepada masyarakat tentang pengelolaan sampah dan meningkatkan pembinaan pengelolaan sampah.

Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (KLHK) menyatakan bahwa regulasi pengelolaan sampah di Indonesia seperti yang diamanatkan dalam Undang-undang (UU) nomor 18 Tahun 2008 Tentang Pengelolaan Sampah sudah lengkap dengan dirilisnya Peraturan Pemerintah (PP) nomor 27 Tahun 2020 tentang Pengelolaan Sampah Spesifik pada 8 Juni 2020 yang melengkapi seluruh regulasi pengelolaan berbagai jenis sampah. pengelolaan sampah spesifik sangat berbeda dengan sampah rumah tangga dan sampah sejenis sampah rumah tangga. Pengaturan pengelolaan sampah spesifik jauh lebih kompleks dan beragam.

Pasal 2 ayat (4) Undang-undang Nomor 18 Tahun 2008 tentang Pengelolaan Sampah menyebutkan bahwa sampah spesifik terdiri atas: sampah yang mengandung B3 dan limbah B3, sampah yang timbul akibat bencana, sampah puing bongkaran bangunan, sampah yang secara teknologi belum dapat diolah, dan/atau sampah yang timbul secara tidak periodik. Sampah ini bisa dihasilkan dari sampah rumah tangga. Oleh karena itu, perlu mendapatkan perhatian khusus karena tidak boleh dicampur dengan sampah-sampah rumah tangga lainnya disebabkan resiko pencemaran lingkungannya cukup tinggi.

D. Bentuk Kebijakan yang Mendukung Pengelolaan Sampah Melalui Pemanfaatan Gas Metana

Pengolahan energi gas landfill yang dalam hal ini berfokus pada gas metana dapat menciptakan sumber energi alternatif dihasilkan dari sampah yang dapat menghemat pemakaian biaya bahan bakar dan penciptaan lapangan kerja penghasilan yang baru. Dikutip dari Khoirusyi¹⁰³, sebesar 14 juta m³/ton gas metana dapat dikurangi dari proyek pengolahan energi dari gas landfill di Amerika Serikat. Jika dikonversikan, emisi tahunan 13 juta mobil dan penanaman 18 juta areahutan setara dengan angka ini. Amerika Serikat memiliki tempat pembuangan akhir sebanyak 600 buah dan berpotensi menghasilkan listrik dari gas metana yang ternyata bisa menyediakan untuk 1 juta rumah.¹⁰⁴ Teknologi terbaik untuk melakukan konversi gas metana menjadi listrik adalah Teknologi *Internal Combustion Engine* (Jaisyullah, 2017).

Timbulan sampah pada TPA berkaitan erat dengan emisi gas rumah kaca, dimana semakin banyak timbulan sampah yang masuk, maka semakin banyak pula potensi emisi CH₄ yang terbentuk. Semakin banyak kandungan organik pada sampah, maka semakin besar pula potensi jumlah gas metana yang dihasilkan.¹⁰⁵ Sebaliknya, semakin sedikit kandungan organik pada sampah, maka semakin sedikit pula potensi jumlah gas metana yang dihasilkan dari sampah tersebut.

¹⁰³ Khoirusyi, Y. (2020). *Potensi Produksi Gas Metana (CH₄) dari Kegiatan Landfilling di TPA Lempeni, Kota Banjarbaru dengan Permodelan LandGEM*, 110

¹⁰⁴ *Ibid*, 110

¹⁰⁵ Herlintama, S. A. (2022). *TUGAS AKHIR Estimasi Emisi Gas Rumah Kaca Pada Pengelolaan Sampah di TPA Basirih Banjarmasin*, 53

Dalam rencana pengelolaan sampah, perlu melakukan pendekatan melalui konsep “meningkatkan sistem pengelolaan sampah yang dapat memenuhi tuntutan dalam paradigma baru pengelolaan sampah”. Untuk itu perlu dilakukan usaha untuk mengubah cara pandang “sampah dari bencana menjadi berkah”. Hal ini penting karena pada hakikatnya pada timbunan sampah itu kadang-kadang masih mengandung komponen-komponen yang sangat bermanfaat dan memiliki nilai ekonomi tinggi namun karena tercampur secara acak maka nilai ekonominya hilang dan bahkan sebaliknya malah menimbulkan bencana yang dapat membahayakan lingkungan hidup.

Ditinjau dari aspek kebijakan, maka dalam pengelolaan sampah tidak lagi menghendaki adanya eksklusifitas kebijakan pengelolaan sampah oleh satu pihak tertentu saja. Masyarakat luas dan dunia usaha diposisikan juga mempunyai kedaulatan yang sama pentingnya dengan pemerintah, sehingga harus ikut berperan dan bertanggung jawab dalam pengelolaan sampah.

Efektifitas pengelolaan sampah hanya dapat dicapai melalui 3 (tiga) pilar, yaitu pemerintah, masyarakat luas dan dunia usaha yang bekerja secara integral (terpadu), komprehensif (menyeluruh) dan mutualistik (saling menguntungkan). Secara implisit konsep ini mengusung asas kegotong-royongan dalam pengolahan sampah sebagai salah satu modal sosial yang strategis.

DAFTAR PUSTAKA

Abdelli, I. S., Addou, F. Y., Dahmane, S., Abdelmalek, F., & Addou, A. (2020). Assessment of methane emission and evaluation of energy potential from the municipal solid waste landfills. *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization and Environmental Effects*, 00(00), 1–20. <https://doi.org/10.1080/15567036.2020.1813221>

Agustina, G. M. (2021). Estimasi Emisi Gas Rumah Kaca di TPA Gunung Kupang Banjarbaru. 1-112

Alkhajar, E. N. S., & Luthfia, A. R. (2020). Daur Ulang Sampah Plastik Sebagai Mitigasi Perubahan Iklim. *Jurnal Penamas Adi Buana*, 4(1), 61–64. <https://doi.org/10.36456/penamas.vol4.no1.a2524>

Amurwaraharja, I.P. 2003. Analisis Teknologi Pengolahan Sampah dengan Proses Hirarki Analitik dan Metoda Valuasi Kontingensi (Studi Kasus di Jakarta Timur). Tesis. Institut Pertanian Bogor.

Anifah, E. M., Rini, I. D. W. S., Hidayat, R., & Ridho, M. (2021). Estimasi Emisi Gas Rumah Kaca (GRK) Kegiatan Pengelolaan Sampah Di Kelurahan Karang Joang, Balikpapan. *Jurnal Sains & Teknologi Lingkungan*, 13(1), 17–33.

Ansori. (2015). 濟無No Title No Title No Title. *Paper Knowledge . Toward a Media History of Documents*, 3(April), 49–58.

Aye, L. and Widjaya, E.R. (2006) Environmental and economic analyses of waste disposal options for traditional markets in

Indonesia. *Waste Management*, 26, 1180-1191. <http://dx.doi.org/10.1016/j.wasman.2005.09.010>

Chusna, N. A. (2018). *Kajian Pemanfaatan Landfill Gas sebagai Sumber Energi di TPA Bandengan, Jepara*. 1-78.

Chairil Saleh, H. P. (2014). Analisa Efektifitas Pengelahan Limbah Lindi di TPA Sapit Urang Kota Malang . *Jurnal Teknik Pengairan*, Vol. 5, No. 1.

Dalilla, F., Umar, M., & Ridwan, A. (2019). Estimasi Kandungan Degradable Organic Carbon (DOC) pada Sampah Padat Kota yang masuk ke TPA Tanjung Belit di Kota Pasir Pangaraian Provinsi Riau. *SPECTA Journal of Technology*, 1(1), 27–37. <https://doi.org/10.35718/specta.v1i1.73>

Damanhuri, E., & Padmi, T. (2010). *Pengolahan Sampah*, Diktat Kuliah. Bandung: Program Studi Teknik Lingkungan FTSL ITB.

Erick, M. C. J., Miranda, G., Sandra, D., Argueta, E., Wachter, N. H., Silva, M., Valdez, L., Cruz, M., Gómez-Díaz, R. A., Casas-saavedra, L. P., De Orientación, R., Salud México, S. de, Virtual, D., Instituto Mexicano del Seguro Social, Mediavilla, J., Fernández, M., Nocito, A., Moreno, A., Barrera, F., ... Faizi, M. F. (2016). No 主観的健康感を中心とした在宅高齢者における 健康関連指標に関する共分散構造分析Title. *Revista CENIC. Ciencias Biológicas*, 152(3), 28. file:///Users/andreataquez/Downloads/guia-plan-de-mejora-institucional.pdf%0Ahttp://salud.tabasco.gob.mx/content/revista%0Ahttp://www.revistaalad.com/pdfs/Guias_ALAD_11_Nov_2013.pdf%0Ahttp://dx.doi.org/10.15446/revfacmed.v66n3.60060.%0Ahttp://www.cenetec.

Eugène, M., Sauvant, D., Nozière, P., Viallard, D., Oueslati, K., Lherm, M., Mathias, E., & Doreau, M. (2019). A new Tier 3 method

to calculate methane emission inventory for ruminants. *Journal of Environmental Management*, 23(1) 982–988.

Fallahizadeh, S., Rahmatinia, M., Mohammadi, Z., Vaezzadeh, M., Tajamiri, A., & Soleimani, H. (2019). Estimation of methane gas by LandGEM model from Yasuj municipal solid waste landfill, Iran. *MethodsX*, 6(February), 391–398. <https://doi.org/10.1016/j.mex.2019.02.013>

Fauziawan, A. I. (2018). Estimasi Emisi Gas Karbondioksida (Co₂) Dari Sektor Limbah Padat Di Kabupaten Karangasem Dengan Metode FIRST ORDER DECAY (FOD). *Biota : Jurnal Ilmiah Ilmu-Ilmu Hayati*, 2(September 2016), 37–45. <https://doi.org/10.24002/biota.v2i1.1688>

Firdausy, M. A. (2016). Produksi Biogas Dari Campuran Eceng Gondok (*Eichornia Crassipes*) Dan Kotoran Ayam. *Tesis*, 1–156.

Firdausy, M. A., Mizwar, A., Khair, R. M., Nirtha, R. I., & Hamatha, N. (2020). Perbandingan Emisi Gas Buang Yang Dihasilkan Pada Penerapan Biodiesel Di Pt Adaro Indonesia. *Jukung (Jurnal Teknik Lingkungan)*, 6(2), 147–156. <https://doi.org/10.20527/jukung.v6i2.9258>

Ghofur, A., Rachman, D. A., Lutfi, M. M., & Rahman, F. (2021). The Influence of Leachate Water on Corrosion Rate of Mild Steel Plate. *International Journal of Mechanical Engineering Technologies and Applications*, 2(2), 137. <https://doi.org/10.21776/mechta.2021.002.02.7>

Hartono, R. (2008). *Penanganan dan Pengolahan Sampah*. Jakarta: Penerbit Penebar Swadaya Group.

Haryanto, B., & Thalib, D. A. (2009). Emisi Metana Dari Fermentasi Enterik: Kontribusinya Secara Nasional Dan Faktor-Faktor Yang Mempengaruhinya Pada Ternak. *Wartazoa*, 19(4),

157–165.

Hasad, A. (2011). Verifikasi dan Validasi dalam Simulasi Model. Institut Pertanian Bogor.

Herlambang, A., Sutanto, H., & Wibowo, K. (2016). Produksi Gas Metana Dari Pengolahan Sampah Perkotaan Dengan Sistem Sel. *Jurnal Teknologi Lingkungan*, 11(3), 389. <https://doi.org/10.29122/jtl.v11i3.1184>

Herlintama, S. A. (2022). *TUGAS AKHIR Estimasi Emisi Gas Rumah Kaca Pada Pengelolaan Sampah di TPA Basirih Banjarmasin*. 1-105.

Hutagalung, W. L. C., Sakinah, A., & Rinaldi, R. (2020). Estimasi Emisi Gas Rumah Kaca pada Pengelolaan Sampah Domestik dengan Metode IPCC 2006 di TPA Talang Gulo Kota Jambi. *Jurnal Teknik Sipil Dan Lingkungan*, 5(1), 59–68. <https://doi.org/10.29244/jsil.5.1.59-68>

IPCC. (2006). IPCC 2006 Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme, Eggleston H.S., Buendia L., Miwa K., Ngara T. And Tanabe K. IGES: Japan.

Iryani, D. A. (2019). Karakterisasi Dan Estimasi Emisi Gas Rumah Kaca Dari Sampah Padat Kota Di Tpa Bakung Kota Bandar Lampung. *Jurnal Pengelolaan Sumberdaya Alam Dan Lingkungan (Journal of Natural Resources and Environmental Management)*, 9(2), 218–228. <https://doi.org/10.29244/jpsl.9.2.218-228>

Jaisyullah, U. A. (2017). Program Pengelolaan Emisi Gas Rumah Kaca Di TPA Benowo. Tugas Akhir.

Javad Asgari, -Mohammad, Safavi, -Kamran, & Mortazaeezahad, -Forogh. (2011). Landfill Biogas production process. *International Conference on Food Engineering and Biotechnology*,

9(August), 208–212. <https://doi.org/10.13140/2.1.1761.0886>

Jurnal, R. T. (2017). PENGELOLAAN EMISI GAS LANDFILL (BIOGAS) SEBAGAI ENERGI TERBARUKAN: Isworo Pujotomo, Muchamad Nur Qosim. *SUTET*, 7(1), 42–47.

Jurnal, R. T. (2018). Pengelolaan Emisi Gas Landfill (Biogas) Sebagai Energi Terbarukan. *Sutet*, 7(1), 42–47. <https://doi.org/10.33322/sutet.v7i1.166>

Kementerian Lingkungan Hidup. (2012). Pedoman Penyelenggaraan Inventarisasi Gas Rumah Kaca Nasional. Jakarta: Kementerian Lingkungan Hidup.

Khatulistiwa, M. R., Jati, D. R., & Fitria, L. (2016). Inventarisasi Emisi CH₄ di TPA Batu Layang Kota Pontianak Provinsi Kalimantan Barat. *Jurnal Teknologi Lingkungan Lahan Basah*, 4(1), 1–10.

Khoirusyi, Y. (2020). *Potensi Produksi Gas Metana (CH₄) dari Kegiatan Landfilling di TPA Lempeni, Kota Banjarbaru dengan Permodelan LandGEM*.

Kirschke, S., Bousquet, P., Ciais, P. dkk. Three decades of global methane sources and sinks. *Nature Geosci* 6, 813–823 (2013). <https://doi.org/10.1038/ngeo1955>

Kurniasari, O., Damanhuri, E., Padi, T., & Kardena, E. (2014). Tanah penutup landfill menggunakan sampah lama sebagai media oksidasi metana untuk mengurangi emisi gas metana. *Jurnal Bumi Lestari*, 1, 46–52.

Kustiasih, T., Setyawati, L. M., Anggraeni, F., Darwati, S., & Aryenti, A. (2017). Faktor Penentu Emisi Gas Rumah Kaca dalam Pengelolaan Sampah Perkotaan. *Jurnal Permukiman*, 9(2), 78–90. <http://jurnalpermukiman.pu.go.id/index.php/JP/article/view/56>

Lhokseumawe, P. N., Pengantar, K., Alwie, rahayu deny danar dan alvi furwanti, Prasetio, A. B., & Andespa, R. (2020). Tugas

Akhir Tugas Akhir. *Jurnal Ekonomi Volume 18, Nomor 1 Maret 201*, 2(1), 41–49.

Mahyudin, Rizqi Puteri. (2017). Kajian Permasalahan Pengelolaan Sampah Dan Dampak. *Teknik Lingkungan*, 3, 3(1), 66–74.

Mahyudin, Rizqi Putri. (2014). Issn 1978-8096. *EnviroScienteeae*, 10, 80–87.

Milich, L. (1999). The role of methane in global warming: Where might mitigation strategies be focused? *Global Environmental Change*, 9(3), 179–201. [https://doi.org/10.1016/S0959-3780\(98\)00037-5](https://doi.org/10.1016/S0959-3780(98)00037-5)

Monice, P. (2018). Analisis Pemanfaatan Energi Dari Pengolahan Metode Landfil Di Tempat Pemrosesan Akhir Muara Fajar. <http://joernal.umsb.ac.id/index.php/RANGTEKNIKJOURNAL> Vol. I No.2 , 216-220.

Muhyidin, M. (2009). *Analisis Keruangan Tempat Pemrosesan Akhir (Tpa) Putri Cempo Kota Surakarta*.

Mulyani, A. S. (2021). Pemanasan Global, Penyebab, Dampak dan Antisipasinya. *Artikel Pengabdian Masyarakat*, 1–27.

Murtudo. (1996). Pengelolaan Limbah Padat dan Permasalahannya, Materi Pelatihan Pengelolaan Limbah Padat. Yogyakarta: PUSTEKLIM.

Mutia, D. D. S. (2018). Estimasi Dan Proyeksi Potensi Penurunan Emisi Gas Rumah Kaca Dari Pengelolaan Sampah Rumah Tangga Wilayah Pelayanan Ii (Studi Kasus: Medan Labuhan Dan Medan Tuntungan). Universitas Sumatera Utara.

Nuryani S, dkk. (2003). *Jurnal Ilmu Tanah dan Lingkungan*, UGM Yogyakarta

Oktafyanza, F. (2019). *Studi Estimasi Emisi Gas Rumah Kaca Pada Pengelolaan Sampah Di Tpa Gunung Kupang Banjarbaru Dengan Metode*

Intergovernmental Panel On Climate Change (IPCC). 1-111.

Oktafayanza, F., Mahyudin, R. P., & Firmansyah, M. (2021). Studi Estimasi Emisi Gas Rumah Kaca Pada Pengelolaan Sampah Di Tpa Gunung Kupang Banjarbaru Kalimantan Selatan. *Media Ilmiah Teknik Lingkungan*, 6(2), 65–73. <https://doi.org/10.33084/mitl.v6i2.2387>

Paredes, M. G., Güereca, L. P., Molina, L. T., & Noyola, A. (2019). Methane emissions from anaerobic sludge digesters in Mexico: On-site determination vs. IPCC Tier 2 method. *Science of the Total Environment*, 656, 468–474. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.11.373>

Prabowo, S., Pranoto, & Budiastuti, S. (2019). Estimasi Emisi Gas Rumah Kaca Yang Dihasilkan Dari Tempat Pemrosesan Akhir (TPA) Di Jawa Tengah. *Bioeksperimen*, 5(1), 21–33.

Puteri Mahyudin, R., Yani Km, J. A., & Kalimantan Selatan, B. (2017). *Improving the Role of Scavengers to Improve Waste Disposal Management*. 13(1).

Rahmah, D. N. (2021). *Analisis Proximate, Ultimate Dan Nilai Degradable Organic Carbon (Doc) Sampah Di Tpa Gunung Kupang Banjarbaru*. 1–81.

Rahmatina, N. (2021). *Potensi Reduksi Timbulan Sampah Oleh Sektor Informal (Pemulung) Dalam Pengelolaan Sampah Perkotaan (Studi Kasus: Tpa Basirih Kota Banjarmasin)*. 1-114.

Ramadhani, D. F. (2022). *TUGAS AKHIR Analisis Karakteristik Sampah dan Nilai Degradable Organic Carbon (DOC) di TPA Basirih Kota Banjarmasin*. 1-92.

Reay, D. S., Smith, P., Christensen, T. R., James, R. H., & Clark, H. (2018). Methane and global environmental change. In *Annual Review of Environment and Resources* (Vol. 43). <https://doi.org/>

org/10.1146/annurev-environ-102017-030154

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

Robby, M. (2021). *Analisis Karakteristik Sampah Dan Nilai Degradable Organic Carbon (Doc) Di Tpa Cahaya Kencana Kabupaten Banjar*.

Santiabudi, F. (2010). Kuantifikasi Emisi Metana Dari TPA Galuga Cibungbulang Bogor Jawa Barat.

Saputro, Y. (2020). Pengoperasian Alat Produksi Metana dari Pembakaran Limbah Kulit Padi. *Accurate: Journal of Mechanical Engineering and Science*, 1(1), 35–40. <https://doi.org/10.35970/accurate.v1i1.183>

Sasmita, A., Andesgur, I., & Rahmi, H. (2016). Potensi Produksi Gas Metana Dari Kegiatan Landfilling di TPA Muara Fajar , Pekanbaru. *Seminar Nasional Teknik Kimia –Teknologi Oleo Petro Kimia Indonesia*, 3(August 2017), 1–2.

Tim Penulis PS. *Pengelolaan Sampah Plastik*. 0–27.

Tsatsarelis et al., (2015). Comparing organic and conventional olive groves relative to energy use and greenhouse gas emissions associated with the cultivation of two varieties. *Applied Energy*, 149 (1): 117-124

Wahyono, E. H. dan Sudarno.N. 2012. *Pengelolaan Sampah Plastik: AnekaKerajinan dari Sampah Plastik*. Yapeka, Bogor.

Whalen, S.C. (2005) Biogeochemistry of Methane Exchange between Natural Wetlands and the Atmosphere. *Environmental Engineering Science*, 22, 73-94. <http://dx.doi.org/10.1089/ees.2005.22.73>

Whitman, D., Isacks, B.L., Chatelain, J., Chiu, J. and Perez, A. (1992). Attenuation of high-frequency seismic waves beneath the central Andean plateau. *Journal of Geophysical Research* 97: doi: 10.1029/92JB01748. issn: 0148-0227.

Widiawati, Y., Puastuti, W., & Yulistiani, D. (2017). Profile gas metana dari bahan baku pakan ruminansia. *Prosiding Seminar Teknologi Dan Agribisnis Peternakan 18 November 2017. Fakultas Peternakan, Universitas Jenderal Soedirman, 1(1), 203–208.*

Wijono, A. (2017). Dampak Pengurangan Emisi Gas Rumah Kaca. *Jurnal Sains Dan Teknologi, November, 1–9.*

BIODATA PENULIS



Dr. Nurul Listiyani, S.H., M.H., C.Me., lahir di Martapura, 04 Desember 1973. Saat ini bekerja sebagai dosen di Fakultas Hukum Universitas Islam Kalimantan MAB Banjarmasin. Menempuh pendidikan formal S1 Hukum Perdata Universitas Lambung Mangkurat (Tahun 1998), S2 Ilmu Hukum Universitas Islam Malang (Lulus Tahun 2012), S3 Ilmu Hukum Universitas Brawijaya Malang (Lulus Cumlaude Tahun 2017). **Pendidikan Non Formal:** Pendidikan Mediator pada Lembaga Diklat IMN Terkreditasi Mahkamah Agung, Bogor Tahun 2019; Trainer Wawasan Kebangsaan (TOT Lemhanas 2020); Diklat Asesor BKD pada Universitas PGRI Adi Buana Surabaya, Tahun 2021. **Kegiatan Penunjang:** Kepala Pusat Pengabdian Kepada Masyarakat UNISKA (2017-sekarang); Mediator Lingkungan Hidup dan Sumber Daya Alam Tersertifikasi (2019-sekarang); Anggota Majelis Pengawas Daerah (MPD) Notaris Kota Banjarmasin (Periode 1: 2015- 2018, periode 2: 2018-2021); Asesor BKD pada LLDikti Wilayah XI (Tahun 2021 – sekarang); Aktif dalam Riset berskala regional dan nasional;

Pemerhati Lingkungan Hidup dan Pertambangan; Aktif sebagai narasumber dalam seminar, FGD, Workshop dan kegiatan lainnya yang berkaitan dengan Lingkungan Hidup dan Pertambangan; Aktif menulis karya ilmiah berkaitan dengan Hukum Lingkungan dan Hukum Pertambangan.



Khenza Atthaya Namira Yulianto merupakan anak tunggal yang lahir di Banjarmasin pada tanggal 24 Mei 2003. Pendidikan Formal ditempuh oleh penulis di SDN Sungai Miai 7 yang diselesaikan pada tahun 2014, SMP Negeri 1 Banjarmasin yang diselesaikan pada tahun 2016, dan SMANegeri 1 Banjarmasin yang diselesaikan pada tahun 2019.

Penulis meneruskan Pendidikan Sarjana di Program Studi Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik, Universitas Lambung Mangkurat Banjarbaru dan diterima pada tahun 2019 melalui jalur SBMPTN. Penulis sempat aktif dalam Organisasi ArtPedia FT ULM sebagai Anggota Divisi Pengkaderan pada tahun 2021. Pada tahun 2021, penulis menjalankan Kerja Praktek di PDAM Bandarmasih selama satu bulan dan melakukan penelitian dengan judul “Analisa dan Perencanaan Jaringan Perpipaan Distribusi Air Bersih PDAM Bandarmasih Menggunakan Aplikasi EPANET 2.2. di Komplek Bumi Pesona”.

