

**ANALISA RESIKO LINGKUNGAN TEMPAT PEMROSESAN
AKHIR (TPA) TAMANGAPA KOTA MAKASSAR**

Environmental Risk Analysis Of Tamangapa Landfill in Makassar City

IMAM HAFIDZ IMRAN

D092202001



**PROGRAM STUDI MAGISTER TEKNIK LINGKUNGAN
DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS HASANUDDIN
GOWA
2024**



Optimized using
trial version
www.balesio.com

PENGAJUAN TESIS

ANALISA RESIKO LINGKUNGAN TEMPAT PEMROSESAN AKHIR (TPA) TAMANGAPA KOTA MAKASSAR

Thesis

Sebagai Salah Satu untuk Mencapai Gelar Magister

Program Studi Teknik Lingkungan

Disusun dan diajukan oleh

IMAM HAFIDZ IMRAN

D092202001

Kepada

**FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS HASANUDDIN
GOWA
2024**



Optimized using
trial version
www.balesio.com

TESIS

ANALISA RESIKO LINGKUNGAN TEMPAT PEMROSESAN AKHIR (TPA) TAMANGAPA DI KOTA MAKASSAR

IMAM HAFIDZ IMRAN
D092202001

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian Tesis yang dibentuk dalam rangka penyelesaian studi pada Program Magister Teknik Lingkungan Fakultas Teknik

Universitas Hasanuddin

Pada tanggal 25 Juni 2024

dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

UNIVERSITAS HASANUDDIN

Menyetujui,

Pembimbing Utama



Dr. Eng. Ir. Irwan Ridwan Rahim, S.T., M.T.
NIP. 197211192000121001

Pembimbing Pendamping



Dr. Eng. Ir. Asiyanthi T. Lando, S.T., M.T.
NIP. 198001202002122002

Dekan Fakultas Teknik
Universitas Hasanuddin



nmad Isran Ramli, S.T., M.T., IPM., AER
197309262000121002

Ketua Program Studi
S2 Teknik Lingkungan



Dr. Ir. Roslinda Ibrahim, S.P., M.T.
NIP. 197506232015042001



PERNYATAAN KEASLIAN TESIS DAN PELIMPAHAN HAK CIPTA

Yang bertanda tangan di bawah ini

Nama : **IMAM HAFIDZ IMRAN**

Nomor Mahasiswa : D092202001

Program Studi : Teknik Lingkungan

Dengan ini menyatakan bahwa, tesis berjudul **“Analisa Risiko Lingkungan Tempat Pemrosesan Akhir (TPA) Tamangapa Kota Makassar”** adalah benar karya saya dengan arahan dari komisi pembimbing (**Dr. Eng. Ir. Irwan Ridwan Rahim, S.T., M.T.** sebagai Pembimbing Utama dan **Dr. Eng. Ir. Asiyanti T Lando, S.T., M.T.** sebagai Pembimbing Pendamping). Karya Ilmiah ini belum diajukan dan tidak sedang diajukan dalam bentuk apapun kepada perguruan tinggi manapun. Sumber informasi yang berasal atau dikutip dari karya yang diterbitkan maupun tidak diterbitkan dari penulis lain telah disebutkan dalam teks dan dicantumkan dalam Daftar Pustaka tesis ini. Sebagian dari isi tesis ini telah dipublikasikan di **Jurnal Prociding The 6th EPI International Conference on Science and Engineering (EICSE) 2022** sebagai artikel dengan judul **“Environmental Risk Analysis of Tamangapa Landfill in Makassar City”**

Dengan ini saya melimpahkan hak cipta dari karya tulis saya berupa tesis ini kepada Universitas Hasanuddin.

Gowa, 26 Juni 2024

Yang menyatakan,



Imam Hafidz Imran



KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadiran Allah SWT, karena berkat rahmat dan hidayah-Nyalah, penulis akhirnya dapat menyelesaikan penulisan tesis dengan judul : “Analisa Resiko Lingkungan Tempat Pemrosesan Akhir (Tpa) Tamangapa Kota Makassar”. Shalawat serta salam semoga tetap tercurahkan kepada junjungan kita Nabi Muhammad SAW, yang membimbing manusia dari zaman jahiliya menuju zaman berkembangnya ilmu pengetahuan.

Dalam penyusunan tesis ini penulis banyak mengalami hambatan, namun berkat bantuan dan arahan yang ikhlas dari berbagai pihak, akhirnya tesis ini dapat terselesaikan dengan baik. Dengan segala kerendahan hati dan rasa hormat, penulis ingin menyampaikan terima kasih serta penghargaan yang setinggi-tingginya kepada :

1. Allah SWT.
2. Keluarga tercinta, Imran Hasyim dan Arliani Rosina Ali, Muhammad Irham Imran, Ummu Kalsum Imran, Syaehani Gani dan seluruh keluarga yang telah memberi do'a dan dukungan.
3. Istri tercinta Nurfadillah yang telah hadir dalam hidupku dan memberi do'a dan dukungan untuk menyelesaikan studi.
4. Bapak Dr. Eng. Irwan Ridwan Rahim, S.T., M.T. selaku Ketua Departemen Teknik Lingkungan Universitas Hasanuddin sekaligus Pembimbing I
5. Ibu Dr. Eng. Asiyanti T. Lando, S.T., M.T. selaku Ketua Program Studi Magister Teknik Lingkungan sekaligus Pembimbing II
6. Ibu Sumi dan kak Olan, selaku staf Departemen Teknik Lingkungan yang selalu membantu semua proses administrasi.
7. Teman-teman Megister Teknik Lingkungan UNHAS, yang selalu saling menyemangati untuk menyelesaikan studi.
8. Teman dan Jaringan manajemen PT. Bumi Karsa, yang memberi dukungan dalam proses penyusunan dan penyelesaian studi.



Penulis menyadari bahwa tesis ini masih jauh dari kata sempurna, oleh karena itu diharapkan kritik dan saran yang bersifat membangun guna melengkapi kekurangan tesis ini, akhir kata semoga tesis ini dapat bermanfaat untuk banyak kalangan dan pengembangan ilmu pengetahuan.

Makassar, 25 Juni 2024
Penulis,



Imam Hafidz Imran
D092202001



ABSTRAK

IMAM HAFIDZ IMRAN. Analisa Resiko Lingkungan Tempat Pemrosesan Akhir (TPA) Tamangapa Kota Makassar, Provinsi Sulawesi Selatan (dibimbing oleh Irwan Ridwan Rahim dan Asiyanthi T.Lando)

Sampah yang terdapat di TPA dengan sistem *Open Dumping* seperti TPA Tamangapa Kota Makassar dan tertimbun selama beberapa tahun akan menimbulkan beberapa risiko lingkungan, salah satunya adalah pencemaran emisi gas rumah kaca (Atabi et al., 2014). IPCC (2022) menyebutkan bahwa sektor limbah merupakan penyumbang emisi Gas Rumah Kaca (GRK) sebesar 3,9% dari total emisi GRK lainnya. Risiko pencemaran emisi GHG pada TPA dapat menimbulkan beberapa dampak seperti gangguan kesehatan, bau tak enak dan potensi kebakaran TPA (Shindell et al., 2017). Tujuan penelitian ini adalah menghitung besaran potensi emisi GHG yang di hasilkan oleh sampah di TPA Tamangapa menggunakan software LandGEM, mengetahui jumlah biaya risiko kesehatan, besaran dan kategori risiko serta manajemen risiko yang dapat dilakukan. Metode penelitian ini menggunakan jenis *observational analitik* dengan rancangan *crosssectional*. Analisa risikonya menggunakan metode *Probability-Impact Matrix* standar ISO 31000:2018 dan metode *Environmental Risk Assessment* (ERA). Hasil yang diperoleh pada penelitian ini berupa estimasi emisi gas metana (CH₄) yang dihasilkan mulai dari $3,27 \times 10^2$ Mg/year pada tahun 1995 dan terus meningkat hingga $9,95 \times 10^3$ Mg/year pada tahun estimasi penutupan TPA yaitu 2025. Emisi gas karbondioksida (CO₂) yang dihasilkan mulai dari $8,98 \times 10^2$ Mg/year pada tahun 1995 dan terus meningkat hingga $2,73 \times 10^4$ Mg/year. Rata-rata total biaya pengobatan penyakit ISPA yang merupakan dampak dari emisi GHG mencapai angka sebesar Rp. 248.262.857 per tahunnya. Hasil analisis risiko yang diperoleh yaitu berupa hasil evaluasi risiko yang memiliki kategori *Moderate* atau Risiko Sedang dan kategori ini disarankan untuk melakukan tindakan lanjutan, risiko dapat saja ditangani selama biaya penanganan risiko tidak melebihi manfaat-manfaat yang dirasakan segera mengambil tindakan penanganan risiko. Hasil analisis manajemen risiko untuk penanganan pencemaran emisi gas yang dihasilkan oleh TPA Tamangapa diperoleh saran tindakan *treatment* berupa melakukan *Risk Reduction*.

Keywords: TPA Tamangapa, Emisi Gas Rumah Kaca, LandGEM, Analisa Risiko



ABSTRACT

IMAM HAFIDZ IMRAN. *Environmental Risk Analysis of Tamangapa Landfill in Makassar City (supervised by Irwan Ridwan Rahim and Asiyanthi T. Lando)*

Waste disposed in landfills with an Open Dumping system like Tamangapa Landfill in Makassar City and dumped for several years will cause several environmental risks, especially the pollution of greenhouse gas emissions (Atabi et al., 2014). IPCC (2022) has mentioned that the waste sector was a contributor to Greenhouse Gas (GHG) emissions by 3.9% of the total GHG emissions. Risk of GHG emissions in landfills can lead to several impacts like health problems, bad odors and potential landfill fires (Shindell et al., 2017). The purpose of this study is to calculate the amount of potential GHG emissions produced by waste in Tamangapa landfill using LandGEM software, determine the amount of health risk costs, the category of risk and risk management that can be applied. This research method used an observational analytic type with a crosssectional design. The risk analysis used the ISO 31000: 2018 standard with Probability-Impact Matrix method and the Environmental Risk Assessment (ERA) method. The results of this study are an estimate of methane gas emissions (CH₄) that was generated starting from 3.27 x 10² Mg/year in 1995 and increased to 9.95 x 10³ Mg/year in the estimated year of landfill closure, which is 2025. The generated carbon dioxide (CO₂) gas emission starts from 8.98 x 10² Mg/year in 1995 and increases to 2.73 x 10⁴ Mg/year. The average total cost of treatment for Accute Respiratory Tract Infection (ARI), which is the effect of GHG emissions, reached Rp. 248,262,857 per year. The results of the risk analysis obtained are the results of a risk evaluation that has a Moderate or Moderate Risk category and this category is recommended to take further action, the risk can be handled as long as the cost of handling the risk doesn't exceed the benefits felt immediately taking action to handle the risk. The results of the risk management analysis for handling gas emission pollution that was generated by Tamangapa landfill suggested the treatment action is to do Risk Reduction.

Keywords: *Tamangapa Landfill, Greenhouse Gas Emissions, LandGEM, Risk Analysis*



DAFTAR ISI

| | Halaman |
|---|---------|
| HALAMAN JUDUL..... | i |
| PENGAJUAN TESIS | ii |
| PERSETUJUAN TESIS | iii |
| PERNYATAAN KEASLIAN TESIS | iv |
| KATA PENGANTAR | v |
| ABSTRAK | vii |
| ABSTRACT | viii |
| DAFTAR ISI..... | ix |
| DAFTAR TABEL..... | xi |
| DAFTAR GAMBAR | xiii |
| BAB I PENDAHULUAN | 1 |
| 1.1. Latar Belakang | 1 |
| 1.2. Batasan Masalah..... | 5 |
| 1.3. Rumusan Masalah | 6 |
| 1.4. Tujuan Penelitian | 6 |
| 1.5. Manfaat Penelitian | 7 |
| 1.6. Sistematika Penulisan | 7 |
| BAB II TINJAUAN PUSTAKA | 9 |
| 2.1. Sampah (<i>Waste</i>) | 9 |
| 2.2. Timbulan Sampah | 9 |
| 2.3. Komposisi Sampah | 10 |
| 2.4. Pemanasan Global (<i>Global Warming</i>) dan Gas Rumah Kaca (<i>Greenhouse Gas</i>)..... | 13 |
| 2.5. Emisi Gas Rumah Kaca (GRK) / <i>Greenhouse Gas</i> (GHG) dari Sektor Persampahan | 17 |
| 2.6. Teknologi Pengukur dan Pendeteksi Emisi GHG yaitu Emisi Gas Metana (CH ₄)..... | 25 |
| 2.7. Pemodelan Emisi GHG di TPA Menggunakan Software LandGEM..... | 27 |
| 2.8. Analisis Risiko | 30 |
| 2.9. Penelitian Terdahulu | 42 |
| METODOLOGI PENELITIAN..... | 51 |
| Metode Penelitian..... | 51 |



| | |
|--|-----|
| 3.2. Lokasi Objek Penelitian | 51 |
| 3.3. Kerangka Penelitian | 53 |
| 3.4. Alat dan Kebutuhan Data | 55 |
| 3.5. Teknik Pengumpulan Data | 55 |
| 3.6. Metode Running Software LandGEM | 56 |
| 3.7. Metode Analisa Risiko | 59 |
| BAB IV HASIL ANALISA DAN PEMBAHASAN | 67 |
| 4.1. Gambaran Umum Kondisi Eksisting TPA Tamangapa | 67 |
| 4.2. Identifikasi Risiko TPA Tamangapa | 72 |
| 4.3. Hasil Analisa Nilai <i>Probability</i> dan <i>Impact</i> Risiko TPA Tamangapa | 75 |
| 4.4. Evaluasi Risiko Pencemaran Emisi GHG di TPA Tamangapa..... | 110 |
| 4.5. Manajemen Risiko Pencemaran Emisi GHG di TPA Tamangapa..... | 112 |
| 4.6. Diskusi dan Pembahasan..... | 114 |
| BAB V PENUTUP..... | 117 |
| 5.1. Kesimpulan | 117 |
| 5.2. Saran..... | 118 |
| DAFTAR PUSTAKA | 119 |
| LAMPIRAN..... | 127 |



DAFTAR TABEL

| Nomor | Halaman |
|--|---------|
| Tabel 2. 1 Klasifikasi Komponen Sampah | 11 |
| Tabel 2. 2 <i>Recovery Factor</i> Sampah | 12 |
| Tabel 2. 3 Komponen Gas pada TPA | 18 |
| Tabel 2. 4 Penelitian Terdahulu..... | 42 |
| Tabel 3. 1 Perbandingan Metode Penilaian Risiko | 60 |
| Tabel 3. 2 Skala <i>Probability</i> Standar ISO 31000:2018. | 63 |
| Tabel 3. 3 Skala Nilai Kemungkinan Frekuensi Risiko Standar ERA | 63 |
| Tabel 3. 4 Skala <i>Impact/Severity</i> Standar ISO 31000:2018. | 64 |
| Tabel 3. 5 Skala Nilai Dampak Risiko standar ERA..... | 64 |
| Tabel 3. 6 Evaluasi Risiko ISO 31000:2018 | 65 |
| Tabel 3. 7 Kriteria Evaluasi Risiko <i>Environmental Risk Assessment</i> (ERA)..... | 66 |
| Tabel 3. 8 Kategori <i>Treatment</i> atau Perlakuan Risiko | 66 |
| Tabel 4. 1 Luas Zona TPA Tamangapa..... | 70 |
| Tabel 4. 2 Penelitian Tentang Pencemaran TPA Tamangapa | 73 |
| Tabel 4. 3 Kondisi Iklim Kota Makassar Stasiun BMKG Tahun 2021 | 78 |
| Tabel 4. 4 Parameter <i>Default CAA</i> | 79 |
| Tabel 4. 5 Parameter <i>Default Inventory</i> | 79 |
| Tabel 4. 6 Tabel Jumlah Timbulan Sampah di TPA Tamangapa | 80 |
| Tabel 4. 7 Data Perhitungan Timbulan Sampah per Tahun per Kapita..... | 81 |
| Tabel 4. 8 Data Timbulan Sampah Tahun 1994 – 2005..... | 82 |
| Tabel 4. 9 Data Timbulan Sampah Tahun 1994 – 2021..... | 82 |
| Tabel 4. 10 Rekap Data Input Aplikasi LandGEM | 83 |
| Tabel 4. 11 Hasil Estimasi Gas Metana (CH ₄) metode IPCC | 87 |
| Tabel 4. 12 Hasil Perbandingan Pemodelan Emisi GHG antara LandGEM dan IPCC..... | 88 |
| Tabel 4. 13 Jumlah Kasus Penyakit Terbanyak di Puskesmas Tamangapa | 91 |
| Tabel 4. 14 Jumlah Biaya Pengobatan Rawat Jalan di Puskesmas Tamangapa Tahun 2015-2021 | 94 |
| Tabel 4. 15 Data Hasil Pemodelan Emisi Gas Metana (CH ₄) dari Beberapa Referensi TPA..... | 98 |
| Tabel 4. 16 Kriteria Kemungkinan Risiko Berdasarkan Hasil Pemodelan Jumlah Emisi Gas Metana (CH ₄) dalam Satuan Mg/year | 98 |
| Tabel 4. 17 Hasil Pengukuran Kualitas Udara TPA Tamangapa Tahun 2018-2019 | 99 |
| Tabel 4. 18 Kriteria Kemungkinan Risiko Berdasarkan Jenis TPA..... | 100 |
| Tabel 4. 19 Kriteria Kemungkinan Risiko Berdasarkan Curah Hujan..... | 101 |
| Tabel 4. 20 Data Kejadian Kebakaran TPA di Indonesia | 102 |
| 21 Kriteria Kemungkinan Risiko Berdasarkan Kejadian Kebakaran... .. | 103 |
| 22 Kriteria Kemungkinan Risiko Berdasarkan Jumlah Kasus Penyakit | 104 |
| 23 Skala Kriteria Nilai Kemungkinan Risiko Hasil Analisis | 105 |



| | |
|---|-----|
| Tabel 4. 24 Nilai Kemungkinan/ <i>Probability</i> Risiko Emisi GHG TPA Tamangapa | 106 |
| Tabel 4. 25 Kriteria Dampak Kerugian Keuangan Risiko Berdasarkan Biaya Pengobatan Penyakit | 107 |
| Tabel 4. 26 Skala Kriteria Nilai Dampak Risiko Hasil Analisis dan Metode ERA | 107 |
| Tabel 4. 27 Nilai Dampak / <i>Impact</i> Risiko Emisi GHG TPA Tamangapa..... | 110 |
| Tabel 4. 28 Rekap Nilai Skala <i>Probability</i> dan <i>Impact</i> Risiko | 110 |
| Tabel 4. 29 Evaluasi Risiko <i>Probability-Impact Matrix</i> ISO 31000:2018..... | 111 |



DAFTAR GAMBAR

| Nomor | Halaman |
|--|---------|
| Gambar 2. 1 Komposisi Sampah di TPA Seluruh Indonesia Tahun 2021 | 11 |
| Gambar 2. 2 Skema Dampak Gas Metana (CH ₄) | 24 |
| Gambar 2. 3 Gambaran Umum Manajemen Risiko Menurut Standar ISO 31000 | 35 |
| Gambar 2. 4 Gambaran Umum Manajemen Risiko Menurut Standar AS/NZS 4360 Tahun 2004 | 38 |
| Gambar 3. 1 Letak Lokasi Objek Penelitian..... | 52 |
| Gambar 3. 2 Kerangka Penelitian..... | 54 |
| Gambar 3. 3 <i>Interface Intro</i> Aplikasi LandGEM | 57 |
| Gambar 3. 4 <i>Interface Sheet USER INPUT</i> Aplikasi LandGEM..... | 57 |
| Gambar 3. 5 <i>Interface Sheet RESULT</i> Aplikasi LandGEM | 59 |
| Gambar 3. 6 <i>Interface Sheet GRAPH</i> Aplikasi LandGEM | 59 |
| Gambar 4. 1 Pembagian Zona Pada TPA Tamangapa | 71 |
| Gambar 4. 2 Kondisi Existing TPA Tamangapa | 71 |
| Gambar 4. 3 Grafik Curah Hujan Bulanan Kota Makassar Tahun 2021..... | 77 |
| Gambar 4. 4 Estimasi Emisi GHG, parameter <i>default CAA</i> | 84 |
| Gambar 4. 5 Estimasi Emisi GHG, parameter <i>default Inventory</i> | 85 |
| Gambar 4. 6 Emisi Gas CH ₄ DAN CO ₂ , <i>default CAA</i> dan <i>Inventory</i> | 86 |
| Gambar 4. 7 Perbandingan Timbulan Sampah Hasil Prediksi IPCC dan Data Input LandGEM..... | 88 |
| Gambar 4. 8 Perbandingan Hasil Estimasi Emisi Gas Metana (CH ₄)..... | 89 |
| Gambar 4. 9 Peta Lokasi Puskesmas Terdekat dari TPA Tamangapa | 91 |
| Gambar 4. 10 Jumlah Kasus Penyakit di Puskesmas Tamangapa..... | 92 |
| Gambar 4. 11 Biaya Pengobatan Rawat Jalan di Puskesmas Tamangapa tahun 2015-2021 | 95 |
| Gambar 4. 12 Rata-Rata Biaya Pengobatan Rawat Jalan di Puskesmas Tamangapa tahun 2015-2021 | 95 |
| Gambar 4. 13 Komplain Warga Terhadap Pembangunan PSEL (Pengolahan Sampah menjadi Energi Listrik) | 108 |
| Gambar 4. 14 Komplain Warga Terhadap Bau dan Kemacetan | 109 |



BAB I PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Produksi limbah padat perkotaan saat ini mengalami peningkatan akibat adanya perkembangan sosio-ekonomi, perkembangan teknologi dan peningkatan jumlah penduduk masyarakat perkotaan. Kota Makassar adalah salah satu wilayah perkotaan yang cukup padat penduduk di provinsi Sulawesi Selatan. Penduduk kota Makassar tahun 2021 tercatat sebanyak 1.427.619 jiwa, dengan pertumbuhan penduduk dari tahun 2020 ke 2021 sebesar 0,26 % (BPS Kota Makassar, 2022). Peningkatan jumlah penduduk perkotaan juga menimbulkan terjadinya peningkatan jumlah sampah yang ada di perkotaan khususnya kota Makassar. Untuk menangani masalah sampah yang timbul di perkotaan, pemerintah kota Makassar menyediakan fasilitas pengelolaan sampah berupa Tempat Pemrosesan/Pembuangan Akhir (TPA) Sampah Tamangapa, sebagai tempat pemrosesan akhir sampah perkotaan.

Tempat pembuangan akhir sampah terjadi proses dekomposisi sampah yang dapat mencemari tiga media lingkungan utama yaitu atmosfer (yaitu lapisan udara), litosfer (lapisan tanah), dan hidrosfer (lapisan air) (Butt et al., 2008). Salah satu resiko yang ditimbulkan oleh pencemaran akibat proses dekomposisi sampah organik yang ada di TPA adalah pencemaran udara berupa emisi gas rumah kaca. Pada laporan IPCC (2022), sektor limbah (*waste*) merupakan salah satu penyumbang emisi gas rumah kaca atau *Greenhouses Gas*. Pada Protokol Kyoto menyebutkan ada enam gas rumah kaca yang cukup berbahaya bagi kondisi iklim diantaranya adalah gas *carbon dioxide* (CO_2), *nitrous oxide* (N_2O), *hydro fluorocarbons* (HFCs), *per fluorocarbons* (PFC's) dan *sulphur hexafluoride* (SF_6), dan *methane* (CH_4). Emisi gas yang dihasilkan oleh sampah di TPA yang memiliki berpengaruh cukup besar terhadap pemanasan global adalah gas metana (CH_4) dan gas karbondioksida (CO_2). Persentase emisi gas TPA (*Landfill Gas*) khususnya emisi gas metana (CH_4) mencapai 50-60% dan gas karbondioksida (CO_2) mencapai

lari total keseluruhan gas yang ada di TPA (Atabi et al., 2014).

metana merupakan gas rumah kaca (GHG : *Green House Gases*) yang berbahaya dibandingkan dengan gas karbondioksida, karena gas metana



cukup reaktif ketika berada di atmosfer bumi. Oksidasi gas metana dapat memicu terjadinya pembentukan ozon (O_3) di troposfer, pembentukan karbondioksida dan uap air di stratosfer (Butler et al., 2020). Ozon (O_3) troposferik adalah polutan udara sekunder murni yang berhubungan dengan efek buruk pada kesehatan manusia, termasuk asma, penurunan fungsi paru-paru, dan penyakit paru obstruktif kronik (Zhang et al., 2019). Sedangkan gas karbon dioksida (CO_2) adalah gas yang tidak berwarna dan tidak berbau sehingga tidak mudah terdeteksi. Gas CO_2 dapat menggantikan oksigen dalam sistem pernapasan. Pada konsentrasi 3%, sesak napas dan sakit kepala atau kantuk dapat terjadi. Bila konsentrasinya di atas 5%, dapat membahayakan nyawa (Fischer, 1999). Kualitas udara pada TPA dan sekitarnya yang terkontaminasi oleh mikroorganisme dapat menyebabkan gangguan kesehatan (Breza, 2016).

Akibat beberapa hal tersebut, emisi metana dan karbondioksida dapat menimbulkan beberapa risiko lingkungan baik secara langsung maupun tidak langsung (Shindell et al., 2017). Salah satu risiko yang ditimbulkan oleh emisi gas metana dan karbondioksida adalah berupa gangguan kesehatan seperti gangguan pernapasan bagi manusia terutama pada penduduk yang berada didekat sumbernya (Mar et al., 2022). Menurut studi sebelumnya menyebutkan bahwa terdapat hubungan antara jumlah emisi gas metana dan gas karbondioksida terhadap keluhan gangguan pernapasan yang dialami oleh masyarakat disekitar TPA (Akbar, 2016). Kualitas udara pada TPA dan sekitarnya terkontaminasi oleh mikroorganisme yang dapat menyebabkan gangguan kesehatan (Khoiron et al., 2020). Selain gangguan kesehatan, jumlah emisi gas metana yang cukup tinggi dapat menyebabkan ledakan dan kebakaran pada TPA (Atabi et al., 2014).

Dampak risiko kesehatan yang diakibatkan oleh emisi gas metana dan gas karbondioksida pada TPA, juga akan menimbulkan risiko beban ekonomi (*economic burden*) yang harus ditanggung oleh masyarakat (Suparmoko, 2009a). Beban ekonomi tersebut diantaranya adalah biaya langsung berupa biaya kesehatan (*medical cost*) seperti biaya berobat dan jasa konsultasi dokter serta biaya non-
1 (*non-medical cost*) seperti biaya transportasi dan akomodasi selama
Selain biaya langsung terdapat pula biaya tidak langsung yakni berupa



nilai sumber daya yang hilang seperti penurunan produktivitas dan berkurangnya pendapatan (Sangkey, 2011).

Pada tahun 2020 tercatat pada data UPTD Tamangapa, jumlah timbunan sampah yang masuk ke TPA mencapai 255.565,015 Ton sampah. TPA Tamangapa awalnya direncanakan sebagai TPA dengan sistem *Controlled Landfill*. Akan tetapi dalam pelaksanaannya dijumpai beberapa kendala, utamanya dalam hal pembiayaan sehingga operasional TPA Tamangapa menjadi *Open Dumping* kembali. Sampah yang tertampung pada TPA dengan jumlah yang cukup besar tersebut apalagi dengan TPA sistem *Open Dumping*, akan menimbulkan beberapa risiko bagi lingkungan disekitarnya. Salah satu penelitian penilaian Indeks Risiko TPA oleh (Nurjannah, 2018a) menggunakan metode IRBA memperoleh nilai Indeks Risiko TPA Tamangapa sebesar 696,09 pada tahun 2018. Nilai 600-749 termasuk kedalam evaluasi bahaya yang Tinggi yang mana tindakan pencegahan yang disarankan adalah menutup operasoinal penimbunan sampah terbuka, tidak digunakan kembali sebagai penimbunan sampah, tindakan perbaikan untuk mengurangi dampak merupakan tindakan pilihan. Namun saat ini TPA Tamangapa masih dibutuhkan sehingga belum dilakukan penutupan.

Pada studi sebelumnya yang dilakukan oleh (Mustika Sari, 2018a), menyebutkan bahwa pada tahun 2016 potensi emisi gas metana yang dihasilkan oleh TPA Tamangapa mencapai 2,240 Gg/tahun yang mana pada saat itu timbunan sampah di TPA Tamangapa sebesar 237.851,884 ton. Perhitungan potensi emisi tersebut menggunakan rumus *IPCC Waste Model Calculation*. Kemudian dilakukan proyeksi potensi emisi gas metana hingga 2026 mencapai 4,968 Gg/tahun, yang berarti setiap tahunnya diprediksi mengalami peningkatan emisi. Potensi emisi gas metana tersebut dapat menimbulkan risiko gangguan kesehatan berupa gangguan pernapasan dan juga menimbulkan risiko beban ekonomi yang merugikan masyarakat sekitar.

Penelitian (Ratih, 2014) menyebutkan bahwa pemulung yang sering berada di TPA terdapat probabilitas terkena gangguan pernapasan sebesar 9,2% akibat gas metana (CH_4) di TPA. Keluhan utama pada gangguan pernapasan berupa batuk, sesak napas dan nyeri dada. Berdasarkan penelitian tersebut ada ciri-ciri dampaknya memiliki kemiripan dengan gejala penyakit Infeksi



Saluran Pernapasan Akut (ISPA) seperti sesak nafas, sakit kepala, batuk dan gangguan pernafasan lainnya (Depkes RI, 2006). Berdasarkan studi sebelumnya diperoleh hasil survey distribusi penderita penyakit ISPA pada balita di sekitar wilayah TPA Tamangapa sebesar 71,8% yang mengalami atau menderita penyakit ISPA (Noviyanti, 2012). Hasil studi terbaru, memperoleh jumlah responden yang mengeluhkan adanya gangguan pernapasan sebesar 76,7% yang diakibatkan oleh pencemaran kualitas udara di sekitar TPA Tamangapa (Adriana, 2021). Hasil survey tersebut memiliki kaitan dengan tingginya jumlah kasus penyakit ISPA yang tercatat pada salah satu puskesmas terdekat dari TPA Tamangapa yakni Puskesmas Tamangapa. Setiap penanganan kasus penyakit ISPA tentunya membutuhkan biaya kesehatan yang akan menjadi beban ekonomi bagi masyarakat yang mengalaminya.

Berdasarkan data di puskesmas Tamangapa mulai dari tahun 2015-2021 diperoleh jumlah kasus penyakit tertinggi yaitu penyakit gangguan pernapasan atau biasa dikenal dengan Infeksi Saluran Pernapasan Atas (ISPA). Tercatat data pada laporan tahunan puskesmas Tamangapa terdapat 4031 kasus penyakit ISPA pada tahun 2015, jumlah ini merupakan jumlah kasus terbanyak diantara penyakit lainnya. Dari jumlah kasus penyakit tersebut, setiap penanganan kasus penyakit ISPA membutuhkan biaya kesehatan yang akan menjadi beban ekonomi bagi masyarakat yang mengalaminya.

Berdasarkan deskripsi diatas, dengan mengetahui kondisi TPA Tamangapa yang saat ini masih dioperasikan dengan sistem *Open Dumping*, yang mana seiring berjalannya waktu akan terus terisi oleh sampah dari kota Makassar dan berdasarkan data di Puskesmas, diperoleh tingginya jumlah kasus penyakit ISPA yang terjadi pada masyarakat di sekitar TPA Tamangapa. Sehingga dipandang perlu untuk melakukan studi lebih lanjut dan terbarukan mengenai penilaian analisa risiko lingkungan TPA Tamangapa, utamanya pada risiko pencemaran emisi gas rumah kaca terhadap dampaknya pada kesehatan masyarakat disekitarnya, yang berguna untuk mengevaluasi keberlangsungan operasional TPA Tamangapa terhadap salah satu risiko yang ditimbulkan bagi lingkungan disekitarnya.



1.2. Batasan Masalah

Penelitian ini memiliki cakupan materi yang cukup luas, sehingga dilakukan pembatasan masalah. Adapun yang menjadi batasan masalah dalam proses analisa risiko lingkungan pada penelitian ini adalah :

1. Objek studi analisa risiko lingkungan pada penelitian adalah TPA Tamangapa yang terletak di Kelurahan Tamangapa, Kecamatan Manggala, Kota Makassar, Provinsi Sulawesi Selatan.
2. Sumber bahaya pencemaran difokuskan pada pencemaran udara yang berupa pencemaran emisi gas rumah kaca (GRK) atau *Green House Gas* (GHG) yang dihasilkan oleh sampah di TPA Tamangapa.
3. Gas rumah kaca yang menjadi fokus pembahasan penelitian ini berfokus pada gas metana (CH₄) dan gas karbondioksida (CO₂).
4. Jumlah emisi GHG dianalisis menggunakan software pemodelan LandGEM.
5. Data timbulan sampah yang dipakai dalam software LandGEM menggunakan data timbulan sampah tahun 1994 sampai tahun 2021.
6. Dampak dari risiko pencemaran emisi GHG yang dipantau adalah gangguan kesehatan berupa gangguan pernapasan yang dialami oleh masyarakat sekitar TPA. Adapun gangguan pernapasan yang dimaksud terkhusus pada penyakit Infeksi Saluran Pernapasan Akut (ISPA). Data yang digunakan berupa data jumlah kasus penyakit ISPA tahunan yang tersedia pada fasilitas kesehatan terdekat yakni Puskesmas Tamangapa.
7. Dampak beban ekonomi yang dianalisis berfokus pada biaya kesehatan yang timbul akibat penyakit ISPA yang dialami masyarakat di sekitar TPA Tamangapa. Data yang digunakan berupa data tarif pelayanan kesehatan di Puskesmas Tamangapa.
8. Data jumlah emisi dan jumlah kasus penyakit merupakan data untuk menghitung kemungkinan atau *probability* dari risiko pencemaran.
9. Data jumlah biaya pengobatan digunakan untuk menghitung dampak atau *impact* dari risiko pencemaran.



itungan jumlah emisi pada penelitian ini akan menggunakan software LandGEM V.3.02 karena penelitian sebelumnya menggunakan rumus *IPCC Reference Model Calculation*.

1.3. Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Berapa jumlah emisi gas rumah kaca (GHG) yang dihasilkan oleh TPA Tamangapa khususnya emisi gas CH_4 dan CO_2 menggunakan aplikasi pemodelan LandGEM ?
2. Berapa jumlah biaya beban ekonomi berupa biaya kesehatan penyakit ISPA yang dialami oleh masyarakat sekitar TPA Tamangapa setiap tahunnya akibat dampak pencemaran emisi gas rumah kaca yang dihasilkan oleh sampah di TPA Tamangapa ?
3. Apa kategori risiko lingkungan TPA Tamangapa berdasarkan pencemaran emisi GHG terhadap penyakit ISPA yang terjadi pada masyarakat disekitar TPA Tamangapa ?
4. Bagaimana manajemen risiko lingkungan yang dapat dilakukan untuk mengatasi dampak risiko pencemaran emisi gas GHG dari TPA Tamangapa ?

1.4. Tujuan Penelitian

Tujuan dilaksanakannya penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Menghitung dan menganalisis jumlah emisi gas rumah kaca (GHG) yang dihasilkan oleh TPA Tamangapa khususnya emisi gas metana (CH_4) dan (CO_2) menggunakan aplikasi pemodelan LandGEM.
2. Menganalisis jumlah biaya beban ekonomi berupa biaya kesehatan penyakit ISPA yang dialami oleh masyarakat sekitar TPA Tamangapa setiap tahunnya akibat dampak pencemaran emisi gas rumah kaca yang dihasilkan oleh sampah di TPA Tamangapa.
3. Menganalisis dan mengidentifikasi kategori risiko lingkungan TPA Tamangapa khususnya pada pencemaran emisi GHG terhadap penyakit ISPA yang terjadi pada masyarakat disekitar TPA Tamangapa.
4. Menganalisis saran manajemen risiko lingkungan yang dapat dilakukan untuk mengatasi risiko pencemaran emisi gas GHG dari TPA Tamangapa.



1.5. Manfaat Penelitian

Adapun manfaat dari penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Mengetahui jumlah emisi gas rumah kaca (GHG) yang dihasilkan oleh TPA Tamangapa khususnya emisi gas metana (CH_4) dan (CO_2) menggunakan aplikasi pemodelan LandGEM.
2. Mengetahui jumlah biaya beban ekonomi berupa biaya kesehatan penyakit ISPA yang dialami oleh masyarakat sekitar TPA Tamangapa setiap tahunnya akibat dampak pencemaran emisi gas rumah kaca yang dihasilkan oleh sampah di TPA Tamangapa.
3. Mengetahui kategori risiko lingkungan TPA Tamangapa khususnya pada pencemaran emisi GHG terhadap penyakit ISPA yang terjadi pada masyarakat disekitar TPA Tamangapa.
4. Memberikan masukan dan saran untuk manajemen risiko lingkungan yang dapat dilakukan untuk mengatasi risiko pencemaran emisi gas GHG dari TPA Tamangapa.
5. Diharapkan dengan mengetahui nilai dan kategori risiko yang diakibatkan oleh pencemaran emisi GHG yang dihasilkan oleh TPA Tamangapa, dapat dijadikan sebagai bahan pertimbangan dan masukan bagi pemerintah Kota Makassar dalam proses pengambilan kebijakan terhadap kondisi TPA Tamangapa saat ini.

1.6. Sistematika Penulisan

Penulisan thesis ini akan diuraikan dalam sistematika penulisan yang dibagi menjadi lima bab pokok bahasan sebagai berikut :

BAB I PENDAHULUAN

Menjelaskan latar belakang permasalahan, perumusan masalah, maksud dan tujuan penelitian, manfaat penelitian, batasan masalah, serta sistematika penulisan secara singkat.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Menyajikan kerangka teori konseptual mengenai penelitian secara singkat dan umum dari penelitian

METODE PENELITIAN



Bab ini akan berisi tentang metode penelitian yang dilakukan penulis dalam melakukan penelitian dari mulai awal persiapan hingga mencapai hasil.

BAB IV HASIL PENELITIAN

Bab ini akan berisi tentang hasil penelitian setelah melakukan pengambilan data dan melakukan analisis data serta disajikan dalam bentuk yang mudah dipahami.

BAB V PENUTUP

Bab ini berisi kesimpulan dari hasil penelitian yang diperoleh dan pemberian beberapa saran penulis untuk penelitiannya



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Sampah (*Waste*)

Sampah dalam UU No. 18 tahun 2008 didefinisikan sebagai sisa kegiatan sehari-hari manusia dan/atau proses alam yang berbentuk padat. Dalam UU No. 18 tahun 2008, sampah spesifik disebutkan adalah sampah yang memerlukan pengelolaan khusus karena sifat, konsentrasi, dan/atau volumenya. Dalam SNI 19-2454-2002 disebutkan bahwa sampah merupakan zat organik dan zat non-organik yang bersifat padat dan dianggap tidak berguna perlu dilakukan pengelolaan agar tidak membahayakan lingkungan dan melindungi investasi bangunan.

Berdasarkan beberapa sumber dapat kita definisikan sampah sebagai suatu benda yang dibuang. berbentuk padat, belum memiliki nilai ekonomis dan merupakan sisa dari aktivitas atau kegiatan manusia. Sampah identik dengan limbah padat, karena tidak ada yang namanya sampah cair, namun yang ada adalah limbah cair. Hampir seluruh kegiatan manusia dapat menghasilkan sampah, mulai dari skala kecil hingga skala besar selama manusia tersebut hidup dan beraktifitas.

Aktifitas yang paling banyak menghasilkan sampah adalah aktifitas kegiatan konsumsi. Kegiatan konsumsi seperti masak-memasak, makan dan minum akan menghasilkan sampah berupa sampah dapur. Hal ini dapat dilihat dari data komposisi sampah di Indonesia pada situs SIPSN tahun 2021, tercatat sampah dapur berupa sampah sisa makanan sebesar 39,81% dari total keseluruhan komposisi sampah.

2.2. Timbulan Sampah

Definisi timbulan sampah yang terdapat pada SNI 19-2454-2002 yaitu jumlah sampah dalam satuan volume (liter) atau satuan berat (kg) per kapita per hari yang dihasilkan atau ditimbulkan oleh masyarakat. Faktor-faktor seperti kemajuan teknologi, jumlah penduduk, keadaan sosial ekonomi budaya, dan ukuran kota dapat mempengaruhi besarnya timbulan sampah yang ada di perkotaan sehingga

variasi besaran timbulan sampah. Terdapat 3 (tiga) kategori untuk sampah berdasarkan SNI yang diterbitkan oleh Kementerian Pekerjaan yaitu untuk kota metropolitan rerata timbulan sampahnya sebesar 0,6



kg/orang/hari, kota sedang rerata timbulan sampahnya sebesar 0,5 kg/orang/hari dan pada kota kecil atau kabupaten rerata timbulan sampahnya sebesar 0,4 kg/orang/hari. Perlu diketahui, berdasarkan pada hasil beberapa penelitian sebelumnya, pada kota metropolitan akan mengalami peningkatan timbulan sampah tiap tahunnya. Untuk kota metropolitan akan mengalami peningkatan timbulan sampah sebesar 1% tiap tahunnya dan sebesar 0,5% untuk kota kecil (BAPPENAS, 2014).

Data timbulan sampah di Indonesia telah tercatat di SIPSN atau Sistem Informasi Pengelolaan Sampah Nasional, yaitu website yang dikelola oleh Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia. Pada tahun 2021 total timbulan sampah diseluruh Indonesia tercatat, mencapai 30.398.003,24 ton/tahun dari total 241 kabupaten/kota se-Indonesia (SIPSN, 2022).

2.3. Komposisi Sampah

Sampah di negara Indonesia sampah kebanyakan tercampur, sehingga sampah memiliki fraksi basah dan fraksi kering yang memiliki beratnya masing-masing. Fraksi basah atau fraksi kering sampah akan membentuk komponen sampah. Dengan menghitung berat fraksi basah dan fraksi kering suatu sampah maka kita dapat memperoleh hasil komposisi sampah tersebut. Jadi komposisi sampah dapat dikatakan sebagai parameter yang menunjukkan fraksi berat basah atau fraksi kering komponen-komponen sampah. Dalam pelaksanaan survey komposisi sampah terdapat beberapa standar yang mengemukakan jumlah komponen sampah yang akan disurvey. Komposisi sampah berdasarkan IPCC 2006 *Guideline*, komposisi sampah diklasifikasikan menjadi 11 komponen, sedangkan menurut SNI 19-3964-1994, komposisi sampah diklasifikasikan menjadi 9 komponen. (Mandayani, 2015) **Tabel 2.1.** berikut menunjukkan perbedaan klasifikasi komponen sampah antara IPCC 2006 *Guideline* dan SNI 19-3964-1994 (Kementerian Lingkungan Hidup Republik Indonesia, 2012).



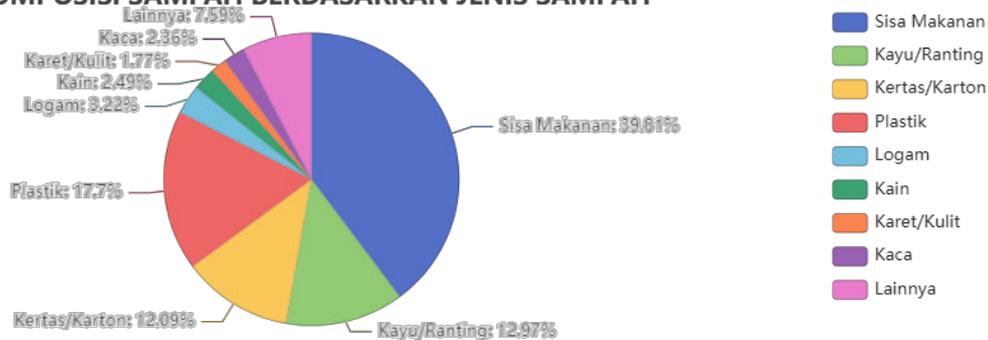
Tabel 2. 1 Klasifikasi Komponen Sampah

| No | IPCC 2006 GL | SNI 19-3964-1994 |
|----|--|----------------------------|
| 1 | Sampah sisa makanan | Sampah sisa makanan |
| 2 | Sampah kebun dan taman | Kayu dan sampah taman |
| 3 | Kayu | - |
| 4 | Kertas dan karton | Kertas, karton dan nappies |
| 5 | Tekstil | Tekstil/produk tekstil |
| 6 | Nappies (<i>disposable diapers</i>) | - |
| 7 | Karet dan kulit | Karet dan kulit |
| 8 | Plastik | Plastik |
| 9 | Logam | Logam |
| 10 | Gelas | Gelas |
| 11 | Lain-lain (abu, debu, sampah, elektronik, dll) | Lain-lain |

Sumber : (Kementerian Lingkungan Hidup Republik Indonesia, 2012)

Indonesia telah melakukan beberapa survey untuk komposisi sampah pada berbagai TPA yang tersebar diseluruh Indonesia. Komposisi sampah yang ada di Indonesia dapat kita lihat secara online melalui website Sistem Informasi Pengelolaan Sampah Nasional (SIPSN). Website tersebut dikelola oleh Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia. Adapun komposisi sampah pada tahun 2021 yang terdapat di SIPSN dapat dilihat pada **Gambar 2.1** berikut.

KOMPOSISI SAMPAH BERDASARKAN JENIS SAMPAH



Sumber : (SIPSN, 2021)

Gambar 2. 1 Komposisi Sampah di TPA Seluruh Indonesia Tahun 2021

Pada gambar grafik diatas menyebutkan persentase komposisi sampah paling besar adalah berasal dari sampah sisa makanan dengan persentase 39,81% dari total keseluruhan sampah yang ada di Indonesia. Posisi kedua berasal dari sampah dengan pesentase 17,7%, lalu diikuti oleh sampah kayu/ranting sebesar Adapun komposisi sampah yang lain yaitu Kertas/karton sebesar 12,09%, 22%, Kain 2,49%, Karet/kulit 1,77%, Kaca 2,36% dan Lainnya 7,59%.



Metode untuk mempresentasikan komposisi sampah yang masuk ke TPA dari berbagai wilayah dapat dilakukan dengan metode pengambilan sampel berbasis 1 m³ pada tiap sampel. Sampel diambil setiap ada truk yang masuk ke dalam TPA untuk memasukkan sampah. Sampah diambil pada setiap truk tersebut dan dimasukkan ke dalam wadah sampel berukuran 1 m³. Sampah dari wadah tersebut selanjutnya dipilah-pilah berdasarkan klasifikasi menurut SNI kemudian ditimbang beratnya. Hasil timbangan berat tersebut akan dibandingkan dengan berat total sampah yang masuk ke wadah sampel sehingga diperoleh persentase komposisi sampah. Persentase sampah pada sampel tersebut tanpa reduksi volume sampel dapat dihitung menggunakan persamaan berikut (Kementerian Lingkungan Hidup Republik Indonesia, 2012) :

$$\% \text{ berat basah} = \frac{\text{Berat komponen sampah}}{\text{Berat total keseluruhan sampah}} \times 100 \% \quad (2.1)$$

Sampah yang telah masuk ke TPA, beberapa diantaranya akan melalui beberapa pengelolaan tergantung fasilitas TPA tersebut untuk mengurangi kuantitas sampah yang ada pada TPA tersebut. Pada sampah, ada namanya *Recovery Factor* yaitu presentasi setiap komponen sampah yang dapat dimanfaatkan kembali, di-*recovery* atau didaur ulang. Namun tidak semua komponen sampah tersebut dapat di-*recovery*, sehingga sisanya akan menjadi residu yang memerlukan pembuangan akhir maupun pemusnahan seperti pembakaran. Berikut merupakan tabel *Recovery Factor* Sampah menurut penelitian Tchobanoglous, Theisen dan Vigil tahun 1993 (Nurdiansyah et al., 2016)

Tabel 2. 2 *Recovery Factor* Sampah

| No | Komposisi Sampah | <i>Recovery Factor</i> (%) |
|----|------------------|----------------------------|
| 1 | Organik | 80 |
| 2 | Kertas | 50 |
| 3 | Kaca | 65 |
| 4 | Plastik | 50 |
| 5 | Logam | 90 |
| 6 | Kayu | 0 |
| 7 | Kain | 0.7 |
| 8 | Karet | 0 |
| 9 | Lain-Lain | 0 |

Sumber : Tchobanoglous, Theisen dan Vigil, 1993 dalam Dwi Santoso, 2018.



2.4. Pemanasan Global (*Global Warming*) dan Gas Rumah Kaca (*Greenhouse Gas*)

2.4.1. Definisi Global Warming dan Greenhouse Gas

Peningkatan *temperature* atau suhu rata-rata atmosfer, laut dan daratan Bumi disebut sebagai peristiwa Pemanasan Global atau biasa disebut dengan istilah *Global Warming*. Pemanasan global adalah peristiwa atau kejadian terkurungnya radiasi gelombang matahari yang berupa gelombang panas atau infra merah yang dipancarkan ke bumi oleh gas-gas rumah kaca atau biasa disebut dengan *Greenhouse Gas* (GHG). Gas rumah kaca/*Greenhouse Gas* terdiri atas 6 (enam) jenis, yaitu gas Karbondioksida (CO_2), gas Metana (CH_4), Nitrous Oksida (N_2O), Hydroperflourokarbon (HFCs), Perflourokarbon (CFCs) dan Sulfur Heksaforida (SF_6). Gas-gas tersebut terdapat di atmosfer secara alamiah dan dapat berasal dari proses pembakaran bahan bakar fosil (minyak bumi dan batu bara) serta akibat dari pembakaran dan penggundulan hutan (Triana, 2008).

Pemanasan global yang terjadi saat ini memiliki dampak yang cukup besar bagi perubahan ekosistem yang ada di bumi. Adapun dampak perubahan ekosistem yang terjadi antara lain adalah terjadinya perubahan iklim yang ekstrem seperti musim hujan dan musim kemarau terjadi pergantian yang tidak menentu, mencairnya es di kutub yang menyebabkan terjadinya peningkatan permukaan air laut dan terjadinya perubahan jumlah dan pola presipitasi. Dampak dari perubahan tersebut sangat mempengaruhi kehidupan yang ada di bumi termasuk hasil pertanian, peningkatan jumlah penyakit, menghilangnya gletser dan terjadinya kepunahan flora dan fauna pada beberapa wilayah di muka bumi.

Efek rumah kaca sebenarnya merupakan suatu sistem di bumi yang dibutuhkan oleh makhluk hidup ada di bumi. Jika efek rumah kaca tidak ada di bumi, maka bumi akan mengalami suhu yang lebih dingin dan akan menyebabkan sulit makhluk hidup untuk hidup di permukaan bumi. Akan tetapi, sesuatu yang berlebihan itu tidak baik, apabila efek rumah kaca yang terjadi berlebihan maka sistem tersebut justru akan merusak kondisi bumi (Utina, 2009).



di bumi yang semakin panas juga disebabkan oleh terjadinya penipisan ozon. Ozon memiliki fungsi untuk menyaring radiasi gelombang pendek (ultraviolet) yang dipancarkan oleh matahari. Akibat semakin menipisnya

lapisan teras atmosfer, maka gelombang pendek yang dipancarkan oleh matahari tersebut akan semakin leluasa untuk memasuki bumi dan mengakibatkan panas yang berlebih. Setelah melewati atmosfer, gelombang pendek ini juga akan mengalami perubahan menjadi gelombang panjang atau gelombang panas matahari atau gelombang infra merah, sehingga dapat meningkatkan konsentrasi gas rumah kaca yang ada di bumi.

Proses pemanasan global dapat dijelaskan dalam bentuk tahapan-tahapan proses sebagai berikut.

1. Bumi akan memproses energi yang masuk ke dalamnya
2. Awan atau partikel lain memantulkan 25% energi yang masuk ke atmosfer
3. Awan mengadsorpsi 25% energi
4. Permukaan bumi mengadsorpsi 45 % energi
5. Sisa energi yang masuk yakni sebesar 5% dipantulkan kembali oleh permukaan bumi
6. Energi hasil adsorpsi dari awan dan permukaan bumi yakni $25\% + 45\% = 70\%$, maka energi sebesar 70% tersebut dipantulkan kembali dalam bentuk radiasi infra merah atau gelombang panas matahari
7. Radiasi infra merah atau gelombang panas matahari yang dipancarkan oleh bumi, sebagian besar radiasi atau gelombang tersebut tertahan oleh awan, gas CO₂ dan gas-gas lain (gas rumah kaca/GHG), yang akan dikembalikan ke permukaan bumi (Triana, 2008).

2.4.2. Dampak Umum Global Warming dan Greenhouse Gas

Para ilmuwan memperkirakan dampak pemanasan global menggunakan teknologi pemodelan komputer dengan berdasarkan pada data temperatur, pola presipitasi dan sirkulasi udara. Dampak pemanasan global yang diperkirakan tersebut akan berdampak pada cuaca, tinggi permukaan air laut, pantai, pertanian, kehidupan hewan liar dan kesehatan manusia. Berikut beberapa penjelasan secara rinci dampak dari pemanasan global tersebut (Triana, 2008).

1. Cuaca



Dampak dari pemanasan global terhadap cuaca adalah terjadinya perubahan keadaan suhu udara, tekanan udara, curah hujan angin, sinar matahari pada suatu tempat tertentu disebut sebagai Cuaca. Sedangkan keadaan rata-rata

cuaca pada suatu wilayah dalam jangka waktu yang relatif lama disebut Iklim. Contohnya saja dapat kita rasakan saat ini yaitu hujan deras masih sering datang pada waktu yang seharusnya sudah memasuki musim kemarau. Akibat perubahan tersebut dapat menyebabkan banjir pada di beberapa wilayah Indonesia. Menurut perkiraan, dalam 30 tahun terakhir musim hujan dan musim kemarau akan terus bergeser. Angin akan bertiup lebih kencang dan akan memiliki pola yang berbeda yang dapat membentuk topan badai (*hurricane*) yang kekuatan anginnya diperoleh dari penguapan air dan perubahan tekanan udara yang drastis.

2. Tinggi Permukaan Laut

Ketika suhu atmosfer menghangat atau terjadi peningkatan suhu, daerah bagian belahan bumi bagian utara (*Northern Hemisphere*) akan mengalami pemanasan yang lebih di banding daerah-daerah lainnya dan permukaan laut juga akan mengalami penghangatan atau peningkatan suhu. Akibat dari peristiwa tersebut akan menyebabkan gunung-gunung es di kutub akan mencair dan menyebabkan peningkatan permukaan air laut. Selama abad ke-20, tinggi permukaan air laut di seluruh dunia telah mengalami peningkatan 10 – 25 cm (4 – 10 inch), dan para ilmuwan IPCC memprediksi air laut akan tetap mengalami peningkatan yang lebih lanjut sebesar 9 – 88 cm (4 – 35 inch) pada abad ke-21.

Berikut beberapa dampak yang diakibatkan oleh meningkatnya permukaan air laut.

- Frekuensi dan intensitas banjir meningkat
- Kerusakan mangrove (hutan bakau) semakin meluas dan terjadi perubahan arus laut
- Kegiatan sosial-ekonomi masyarakat pesisir akan terancam
- Hilangnya beberapa pulau kecil dan terjadi pengurangan luas daratan

3. Pertanian

Ada beberapa argumen yang menyatakan bahwa, jika bumi menjadi hangat maka akan terjadi peningkatan jumlah makanan dari sebelumnya, tetapi hal ini tidak terjadi di semua tempat. Sebagai contoh pada daerah bagian selatan Kanada



dapatkan keuntungan yang lebih dari adanya peningkatan curah hujan dan am yang lebih lama. Namun, pada daerah lainnya seperti di beberapa Afrika yang memiliki lahan pertanian tropis semi kering dan tanaman

pertanian yang sulit untuk tumbuh bahkan terancam tidak tumbuh. Untuk daerah pertanian akan sulit untuk menumbuhkan tanaman pertaniannya apabila *snowpack* (kumpulan salju) musim dingin yang berada di pegunungan dan merupakan reservoir alami mencair lebih awal sebelum bulan-bulan masa tanam mencapai puncaknya dikarenakan pertanian tersebut sangat mengandalkan air irigasi dari pegunungan untuk mengairi lahan pertanian daerah gurun tersebut. Pertanian untuk daerah tropis seperti Indonesia memakai patokan cuaca untuk waktu penanaman dan waktu panen, karena apabila prediksi cuaca salah akibat terjadi perubahan yang tidak menentu maka hasil panen terancam tidak bagus bahkan bisa jadi gagal panen dan mengalami kerugian.

4. Hewan dan Tumbuhan

Ketika terjadi pemanasan global, hewan dan tumbuhanlah yang akan paling mengalami kesulitan untuk menghindari efek pemanasan global dikarenakan sebagian besar lahan telah dihuni oleh manusia. Sebagai contoh beberapa satwa di padang Afrika mengalami kematian akibat kelaparan dan kepanasan karena terjadinya perubahan suhu yang sangat ekstrem dan mereka sulit untuk beradaptasi dengan cepat. Biasanya saat terjadi pemanasan global, hewan cenderung untuk melakukan migrasi ke daerah kutub atau ke pegunungan untuk mencari tempat yang nyaman. Akan tetapi, adanya pembangunan manusia di beberapa wilayah menyebabkan migrasi hewan-hewan ini terhalang akibatnya mereka terperangkap di wilayah yang mengalami dampak perubahan cuaca yang ekstrem. Beberapa jenis hewan yang agak lambat melakukan migrasi akan mengalami kepunahan secara perlahan. Sedangkan pada tumbuhan ketika terjadi pemanasan global akan mengubah arah pertumbuhannya mencari daerah baru yang sesuai dengan kriteria habitat tumbuhan tersebut.

5. Kesehatan Manusia

Beberapa penyakit yang dibawa oleh hewan yang merupakan *ancestor* suatu penyakit akan mengalami perluasan dan penyebaran wabah penyakit, seperti nyamuk demam berdarah, malaria, dan sebagainya akan melakukan migrasi karena



ng mereka tinggal sebelumnya sudah terlalu dingin dan sulit untuk hidup. akan lebih sering bertelur ketika terjadi perubahan temperatur, an udara dan curah hujan yang ekstrem, sehingga vektor yang tertularkan

penyakit juga bertambah. Keganasan penyakit sangat dipengaruhi oleh fenomena pemanasan global. Prediksi para ilmuwan menyatakan bahwa akan terjadi peningkatan insiden alergi, penyakit pernafasan dan radang selaput otak (*encephalitis*), yang diakibatkan oleh udara yang lebih hangat akan memperbanyak polutan, spora *mold* dan serbuk sari. Bencana alam yang diakibatkan oleh fenomena pemanasan global seperti banjir, akan memicu masalah kesehatan masyarakat lain, termasuk beberapa jenis penyakit seperti diare, *leptospirosis*, asma, kanker kulit dan penyakit paru obstruktif kronis.

2.5. Emisi Gas Rumah Kaca (GRK) / *Greenhouse Gas* (GHG) dari Sektor Persampahan

Gas-gas yang ada di atmosfer yang menyebabkan efek seperti rumah kaca menyebabkan peningkatan suhu di permukaan bumi meningkat disebut sebagai gas rumah kaca. Gas-gas ini ketika mengalami peningkatan konsentrasi di atmosfer akan menyebabkan fenomena pemanasan global yang mengakibatkan berbagai dampak yang merugikan manusia dan makhluk hidup lainnya di muka bumi seperti yang dijelaskan sebelumnya. Dalam konvensi Perserikatan Bangsa-Bangsa (PBB), membahas mengenai perubahan iklim menyatakan ada 6 (enam) jenis gas yang tergolong sebagai GHG yaitu CO₂ (Karbon dioksida), CH₄ (Metana), N₂O (Dinitrogen Oksida), SF₆ (Sulfurheksafluorida), PFC (Perfluorokarbon) dan HFC (Hidrofluorokarbon) (Mandayani, 2015).

Saat ini berbagai negara telah memberikan perhatian besar terhadap dampak pemanasan global termasuk negara kita Indonesia. Dalam Protocol Kyoto memuat dan mengatur kewajiban pengurangan emisi GRK/GHG bagi negara industri maju dalam rangka mitigasi dampak pemanasan global. Salah satu sektor penyumbang emisi GHG ke atmosfer menurut laporan IPCC 2022 adalah sektor limbah (*waste sector*). Sektor limbah salah satunya adalah TPA, dimana khusus dari TPA memberikan kontribusi antara 3-4 % dari emisi GHG global. Banyak jenis emisi GHG yang dihasilkan oleh sektor persampahan, akan tetapi dalam setiap laporan *National GHGs Inventory* gas yang dianggap dominan dan harus ada dalam laporan adalah gas CO₂, CH₄ dan N₂O.



Indonesia merupakan negara yang tidak termasuk dalam negara yang harus mengurangi emisi GHG dan telah membuat kebijakan berupa UU No. 17 Tahun

2004 sebagai bentuk ratifikasi Protokol Kyoto. Walaupun tidak termasuk sebagai negara yang harus mengurangi emisi GHG, tetapi Indonesia dapat berperan dalam mitigasi pemanasan global melalui program *Clean Development Mechanism* (CDM) atau Mekanisme Pembangunan Bersih sebagai *host* bagi proyek-proyek pengurangan emisi GHG. Pengkajian mengenai besar kemampuan alam maupun berbagai aktivitas sektoral di Indonesia dalam “menyumbang” (*source*) maupun “menyerap” (*sink*) emisi GHG termasuk dari sektor persampahan sangat perlu dan sangat penting untuk dilakukan pengkajian yang lebih lanjut (Purwanta, 2016).

2.5.1. Proses Terbentuknya Gas-Gas di TPA

Landfill Gas (LFG) yakni gas yang dihasilkan oleh TPA mulai terbentuk pada tahun pertama hingga tahun kedua sampah dibuang ke TPA dan berlanjut 15 hingga 25 tahun yang akan datang (Vaverková, 2019). Limbah organik terdekomposisi menghasilkan gas metana (CH₄) dan (CO₂), beberapa zat beracun, dan bau busuk yang merupakan produk sampingan dari proses dekomposisi atau penguraian. Gas CH₄ dan CO₂, keduanya merupakan Greenhouse Gases (GHG) atau disebut gas rumah kaca, yang memberikan kontribusi pada efek gas rumah kaca atau Global warming. CH₄ merupakan jenis GHG yang paling kuat yang hampir 25 kali lebih kuat dari gas CO₂ (Park & Shin, 2001).

Gas metana (CH₄) adalah salah satu gas rumah kaca yang dihasilkan oleh TPA melalui proses dekomposisi sampah. Selain gas metana, di TPA juga terdapat beberapa komponen gas lain yang menjadi salah satu sumber pencemaran udara di lingkungan. Pada **Tabel 2.3.** menyajikan beberapa komponen gas yang terdapat pada TPA menurut EPA 2015.

Tabel 2. 3 Komponen Gas pada TPA

| KOMPONEN | VOLUME (%) | KARAKTERISTIK |
|------------------------------------|------------|--|
| Metana (CH ₄) | 40-60 | Metana merupakan salah satu gas alami. Sifat alami gas metana yakni tidak berwarna dan tidak berbau. |
| Karbon Dioksida (CO ₂) | 40-60 | Karbon dioksida secara alami terdapat pada atmosfer dalam konsentrasi kecil sebesar 0,03%. Gas ini tidak berwarna, tidak berbau, dan sedikit asam. |
| (N ₂) | 2-5 | Atmosfer terdiri dari 79% gas Nitrogen. Gas ini memiliki sifat |



| | | |
|---|---------|--|
| Oksigen (O ₂) | 0,1-1 | tidak berbau, tidak berasa, dan tidak berwarna. 21% gas di atmosfer merupakan gas Oksigen. Gas ini memiliki sifat tidak berbau, tidak berasa dan tidak berwarna. |
| Amonia (NH ₃) | 0,1-1 | Amonia memiliki sifat gas tidak berwarna dan memiliki bau yang menyengat |
| NMOCs (<i>Non-Methane Organic Compunds</i>) | 0,1-0,6 | NMOC merupakan senyawa organik yang mengandung karbon selain gas metana murni. NMOCs dapat terjadi secara alami atau terbentuk dari proses kimia sintesis. Salah satu senyawa yang ditemukan pada TPA berupa gas akrilonitril 1,1-diklorometana, benzena dan beberapa senyawa lainnya. |
| Sulfida (S ₂) | 0-1 | Sulfida adalah gas alami yang menghasilkan campuran gas yang ada di TPA. Gas sulfida dapat menimbulkan bau yang tidak sedap bahkan dalam konsentrasi yang sangat rendah |
| Hidrogen (H ₂) | 0-0,2 | Hidrogen merupakan gas yang tidak memiliki bau dan tidak berwarna |
| Karbon Monoksida (CO) | 0-0,2 | Karbon Monoksida adalah salah satu gas berbahaya bagi manusia yang memiliki sifat gas tak berbau dan tidak berwarna |

Sumber : Tcobanoglus, Theisen dan Vigil, 1993 dalam Sari, 2018.

Setelah mengetahui komponen gas yang ada di TPA, selanjutnya kita perlu mengetahui proses terbentuknya beberapa gas yang ada di TPA. Salah satu proses terbentuknya gas adalah melalui proses dekomposisi sampah oleh bakteri dekomposer. Pada proses dekomposisi terdapat 4 (empat) fase penguraian sampah di TPA. Berikut penjelasan empat fase proses dekomposisi sampah di TPA.

1. Fase 1

Pada fase pertama dekomposisi, oksigen yang ada di udara dikonsumsi oleh bakteri-bakteri aerobik. Ketika molekul oksigen yang dikonsumsi pecah akan



akan turunan molekul yang membentuk rantai panjang dan kompleks arbohidrat, protein dan lipid. Ketiga turunan molekul tersebut akan limbah organik. Hasil metabolisme bakteri aerobik tersebut akan

menghasilkan karbon dioksida. Pada awal fase konsentrasi nitrogen di udara tinggi dan akan berkurang seiring berjalannya waktu karena nitrogen dibutuhkan dalam pembentukan protein. Fase ini akan terus berlanjut hingga persediaan oksigen pada lingkungan hidup bakteri habis. Fase pertama ini dapat bertahan beberapa hari hingga beberapa bulan tergantung berapa banyak oksigen yang hadir saat limbah dibuang di TPA dan seberapa cepat bakteri aerobik memproses oksigen.

2. Fase 2

Fase kedua ini mulai berjalan ketika oksigen sudah terpakai untuk diproses oleh bakteri aerobik dan memasuki fase anaerobik oleh bakteri anaerobik pula. Bakteri anaerobik pada fase ini akan mengonversi senyawa organik yang dihasilkan oleh bakteri aerobik menjadi senyawa lain yaitu asam asetat, asam laktat, asam formiat dan alkohol seperti metanol dan etanol. Pada fase ini kondisi TPA akan menjadi sangat asam. Sebagian asam yang ada pada TPA akan tercampur oleh uap air dari embun yang ada pada tanah yakni kandungan air tanah dan mengakibatkan beberapa nutrisi larut seperti nitrogen dan fosfor. Gas produk sampingan pada proses ini berupa gas karbon dioksida dan gas hidrogen. Fase ini dapat kembali ke fase pertama ketika proses bakteri anaerobik terpapar oksigen.

3. Fase 3

Pada fase ketiga ini dimulai ketika produk asetat dan asam organik yang dihasilkan oleh bakteri anaerobik pada fase 2 akan dikonsumsi oleh beberapa jenis bakteri anaerobik fase 3. Pada fase ini kondisi TPA akan menjadi netral dimana bakteri penghasil metana dan asam membentuk hubungan simbiosis mutualisme atau hubungan saling menguntungkan. Bentuk hubungannya yaitu bakteri penghasil asam akan menyediakan bahan yang akan dikonsumsi oleh bakteri metanogen. Bakteri methanogenik mengonsumsi asam asetat dan beberapa jenis asam lainnya menghasilkan senyawa berupa gas metana.

4. Fase 4

Pada fase 4 ini proses dekomposisi mencapai puncaknya ketika komposisi dan produksi gas landfill relatif konstan. Pada fase ini gas yang ada di TPA yang

hasil produk dari fase-fase sebelumnya biasanya akan mengandung 5% sampai 60% gas metana per satuan volume, 40% sampai 60% gas ioksida per satuan volume dan 2% sampai 9% gas lainnya per satuan



volume seperti gas sulfida, hidrogen sulfida dan sebagainya. Gas yang diproduksi di TPA akan semakin bertahan lama ketika jumlah volume sampah organik semakin banyak di TPA, sehingga semakin banyak sampah organik maka gas yang dihasilkan akan semakin banyak.

Karakteristik limbah (berupa komposisi dan umur sampah) dan sejumlah faktor lingkungan (keberadaan oksigen, kadar air dan suhu) merupakan faktor penentu tingkat dan volume gas TPA yang diproduksi pada lokasi tertentu. Berikut merupakan beberapa faktor yang menjadi penentu tingkat dan volume gas TPA.

1. Komposisi Limbah

Komposisi limbah merupakan perbandingan antar tiap jenis sampah yang terdapat pada suatu limbah. Jenis sampah yang terdapat pada TPA sangat mempengaruhi konsentrasi gas yang terdapat pada TPA. Gas TPA berupa karbon dioksida, metana, nitrogen dan hidrogen sulfida akan semakin banyak apabila semakin banyak pula sampah organik yang dibuang di TPA. Selain sampah organik, terdapat pula limbah bahan kimia dan sampah anorganik yang dibuang di TPA. Sampah anorganik dan bahan kimia yang ada pada TPA kemungkinan akan menghasilkan gas NMOCs dan gas lainnya yang dihasilkan melalui proses penguapan ataupun reaksi kimia tertentu dan jumlah gasnya juga mengikuti volume sampahnya.

2. Usia Timbulan

Usia timbulan sampah di TPA menandakan lama waktu sampah yang dibuang di TPA tinggal dan tidak dilakukan tindakan lebih lanjut. Pada umumnya limbah yang dikubur lebih lama yakni terkubur lebih dari 10 tahun akan menghasilkan lebih sedikit gas yang melalui penguraian bakteri dibanding limbah yang baru saja dikuburkan yakni sekitar kurang dari 10 tahun. Hal ini diakibatkan karena limbah yang sudah lama terkubur komponen yang dibutuhkan bakteri pengurai sudah berkurang bahkan habis untuk bisa dilakukan proses dekomposisi.

3. Keberadaan Oksigen

Keberadaan oksigen sebetulnya masih dibutuhkan oleh bakteri aerobik untuk menghasilkan gas karbon dioksida. Namun, ketika oksigen hadir maka bakteri gas penghasil gas metana tidak dapat aktif karena kondisi lingkungan untuknya hidup tidak terpenuhi.



4. Kelembaban Konten

Moisture atau kelembaban lingkungan pada TPA diperoleh karena sampah di TPA mengalami kehujanan sehingga kadar air meningkat. Kondisi lingkungan lembab ini mendorong terjadinya proses dekomposisi bakteri pada TPA, begitupun juga reaksi-reaksi kimia yang menghasilkan gas juga meningkat.

5. Suhu

Bakteri dekomposisi yang terdapat pada TPA membutuhkan suhu yang tertentu agar dapat melakukan proses dekomposisi. Semakin meningkatnya suhu TPA maka aktivitas bakteri juga akan meningkat begitupun juga produksi gas juga akan meningkat. Tingkat penguapan dan reaksi kimia juga akan meningkat seiring bertambahnya suhu.

Gas memiliki sifat volatil yakni akan mengisi ruang yang tersedia dan cenderung menyebar dan meluas serta bergerak melalui pori-pori terbatas didalam sampah maupun pori-pori tanah. Gas TPA yang dihasilkan memiliki massa jenis yang lebih rendah dibanding gas pada udara lainnya akan secara alami naik ke atas atmosfer seperti gas metana. Beberapa gas seperti gas karbon dioksida, memiliki sifat lebih pada daripada gas udara lainnya dan cenderung akan terkumpul. Pergerakan gas ini yang mencapai atmosfer akan menimbulkan efek gas rumah kaca dan menyebabkan pemanasan global jika konsentrasinya semakin meningkat (Mar et al., 2022b).

2.5.2. Dampak Emisi Gas Rumah Kaca (GHG) dari Sektor Persampahan Terhadap Kesehatan

Lalieveld et al. (2020) pada penelitiannya menghitung jumlah total kematian yang diakibatkan oleh polusi udara ambien yang hasilnya mencapai angka 4,55 juta orang per tahun, yang mana hasil ini tiga kali lipat lebih besar dari jumlah yang diestimasi sebelumnya oleh Lalieveld et al. (2015) (Mohamed et al., 2021).

Dampak emisi GHG pada TPA terhadap kesehatan manusia hampir serupa dengan



kesehatan pada pemanasan global. Emisi GHG yang dihasilkan oleh TPA mengakibatkan beberapa gangguan kesehatan terutama pada gangguan pernapasan (Utina, 2009). Salah satu penyakit gangguan pernapasan akibat

terpaparnya emisi GHG oleh TPA adalah ISPA. ISPA atau Inspeksi Saluran Pernapasan Atas merupakan inspeksi pada saluran pernapasan yang disebabkan oleh virus atau berbagai macam zat yang terkandung dalam udara termasuk emisi GHG. Gejala yang dialami oleh penderita ISPA meliputi batuk, hidung tersumbat, pilek, bersin-bersin, nyeri otot, batuk berdarah, sesak napas dan demam (Depkes RI, 2006). Beberapa penelitian menyebutkan bahwa ada pengaruh positif paparan gas pada emisi GHG dapat menyebabkan penyakit ISPA yang dialami oleh masyarakat disekitaran TPA.

Manusia yang terkena penyakit ISPA tentu akan mengalami penurunan kondisi fisik tubuh bahkan bisa mengalami kondisi tidak sehat atau sakit. Apabila seseorang yang sakit dan orang tersebut memiliki pekerjaan tentu akan menimbulkan beberapa kerugian yang akan dialami oleh seseorang tersebut serta kerugian yang dialami oleh sektor lain yang memiliki hubungan dengan orang tersebut, misalnya produktivitas pada pekerjaannya (Suparmoko, 2009).

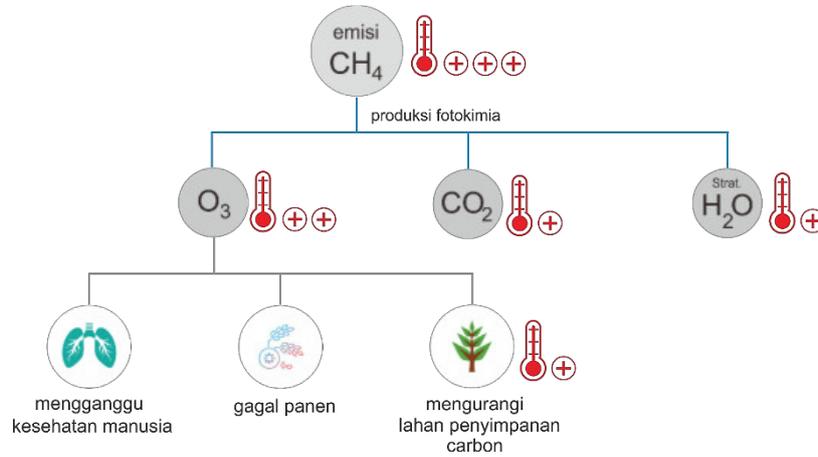
Pada penelitian (Ratih, 2014) mengenai pengaruh paparan gas metana (CH_4), karbon dioksida (CO_2) dan hydrogen sulfida (H_2S) yang terdapat pada TPA terhadap keluhan gangguan pernapasan menggunakan metode pendekatan *cross sectional* diperoleh hasil pada ketiga gas tersebut yang memiliki pengaruh terhadap keluhan gangguan pernapasan hanya gas metana dan gas hydrogen sulfida. Berdasarkan hasil penelitian ini gas rumah kaca (GHG) yang memiliki dampak terhadap gangguan kesehatan utamanya gangguan pernapasan adalah gas metana (CH_4). Namun tidak menutup kemungkinan bahwa gas karbon dioksida juga memiliki dampak terhadap gangguan kesehatan. Untuk mengenali dampak dari emisi gas rumah kaca perlu diketahui terlebih dahulu sifat dari setiap gas tersebut. Pada penelitian ini difokuskan pada emisi gas rumah kaca yang paling besar kuantitasnya pada TPA yakni gas metana dan karbon dioksida.

Gas metana secara umum tidak termasuk kedalam salah satu polusi udara, sehingga dalam peraturan baku mutu tidak terdapat baku mutu standar kadar gas metana dalam udara ambien. Namun gas metana merupakan salah satu prekursor

(O_3) yang merupakan salah satu polusi udara yang dapat membahayakan kesehatan. Ozon merupakan salah satu polusi udara sekunder yang dapat menimbulkan gangguan kesehatan seperti asma, penurunan fungsi paru-paru dan



Chronic Obstructive Pulmonary Disease (COPD) atau kerusakan paru-paru. Berikut gambaran skematik dari dampak dari gas metana terhadap iklim, ekosistem dan kesehatan menurut (Mar et al., 2022b).



Sumber : (Mar et al., 2022b).

Gambar 2. 2 Skema Dampak Gas Metana (CH_4)

Pada Gambar 2.2 diatas, gas metana (CH_4) merupakan gas yang cukup reaktif ketika berada diatmosfer. Melalui reaksi *photochemical* atau reaksi kimia akibat energy foton matahari, gas metana yang terdapat pada atmosfer akan menghasilkan ozon troposfer (O_3), karbondioksida (CO_2), dan uap air (H_2O) pada stratosfer. Gas ozon hasil reaksi fotokimia gas metana inilah yang sangat berbahaya bagi kesehatan, merusak ekosistem seperti memberi kerusakan pada tanaman, gagal panen, dan mengurangi kemampuan biosfer dalam menyimpan karbon (Mar et al., 2022b).

Gas metana apabila berada diudara dalam kadar konsentrasi 5-15% akan mudah terjadi reaksi kimia yang dapat menyebabkan ledakan dan kebakaran pada sampah di TPA. Selain itu, ketika konsentrasi gas metana yang berada diatmosfer lebih tinggi dibanding dengan konsentrasi oksigen, dapat menyebabkan gejala Asfiksi atau gejala kekurangan oksigen pada manusia. Gejala Asfiksi dapat terjadi ketika konsentrasi oksigen pada udara ambien berada dibawah 19,5%, kemudian ditandai dengan gejala hilangnya kesadaran pada makhluk hidup termasuk hal ini dikarenakan kurangnya asupan oksigen yang dibutuhkan tubuh lakukan proses metabolisme (Ratih, 2014).

n gas metana yang memiliki konsentrasi paling tinggi di TPA, terdapat karbondioksida (CO_2) yang juga memiliki konsentrasi yang cukup besar



berkisar 40 – 60% dari keseluruhan gas yang ada di TPA. Karbondioksida juga berasal dari proses biodegradasi aerobik maupun anaerobik dari senyawa organik yang teradapat pada sampah di TPA. Gas karbondioksida (CO_2) memiliki sifat fisik tidak berwarna dan tidak berbau sehingga untuk mendeteksi keberadaannya cukup sulit, bahkan manusia juga dapat menghasilkan gas karbondioksida dari hasil metabolisme (CO_2). CO_2 apabila masuk terhirup oleh manusia dapat menggantikan oksigen dalam sistem pernapasan manusia. Menurut OSHA (2012), menyebutkan untuk nilai ambang batas paparan gas (CO_2) bagi orang yang sehat dengan waktu kerja 8 jam sehari sebesar 5.000 ppm (0,5 %). Apabila konsentrasi gas CO_2 mencapai 3 % dapat menyebabkan terjadinya sesak napas dan sakit kepala atau akan mulai mengantuk akibat kekurangan oksigen. Jika konsentrasi gas CO_2 mencapai angka 5 % di atmosfer maka dapat membahayakan kehidupan akibat efek gas rumah kaca yang semakin meningkat (Ratih, 2014).

2.6. Teknologi Pengukur dan Pendeteksi Emisi GHG yaitu Emisi Gas Metana (CH_4)

Mengukur dan mendeteksi emisi gas metana di Tempat Pembuangan Akhir (TPA) sampah adalah langkah penting untuk mengurangi dampak lingkungan dan meningkatkan upaya pengelolaan sampah. Berikut adalah beberapa teknologi terbaru yang digunakan untuk mengukur dan mendeteksi emisi gas metana di TPA sampah:

1. Sistem Pemantauan Jarak Jauh (*Remote Sensing*)

Teknologi pemantauan jarak jauh memungkinkan deteksi emisi gas metana dari lokasi yang luas tanpa perlu berada di lokasi. Contohnya termasuk:

- a. Penginderaan Satelit : Satelit seperti TROPOMI (*Tropospheric Monitoring Instrument*) yang berada di satelit Sentinel-5P dapat mendeteksi emisi metana dari atmosfer dengan resolusi tinggi (Ialongo *et. al.*, 2020).
- b. Drone dengan Sensor Metana : Drone yang dilengkapi dengan sensor metana dapat terbang di atas TPA dan mendeteksi konsentrasi gas metana di area tersebut. Sensor seperti *Tunable Diode Laser Absorption Spectroscopy* (TDLAS) sering digunakan untuk ini (Lacnaker, 2007).



2. Teknologi Laser

Laser metana terbukti sangat akurat dalam mendeteksi konsentrasi gas metana. Beberapa teknologi laser yang digunakan adalah:

- a. *Open-Path Tunable Diode Laser Absorption Spectroscopy (OP-TDLAS)* : Menggunakan laser untuk mengukur konsentrasi metana dengan mendeteksi absorpsi cahaya pada panjang gelombang tertentu yang terkait dengan metana (Mohammad, I., 2014).
- b. *Cavity Ring-Down Spectroscopy (CRDS)* : Metode optik yang sangat sensitif untuk mengukur konsentrasi gas metana dengan mengamati penurunan intensitas cahaya laser yang memantul di dalam rongga (Chen, H., 2010).

3. Sensor Infrared (IR)

Sensor inframerah dapat mendeteksi gas metana berdasarkan absorpsi spektrum inframerah. Teknologi ini digunakan dalam berbagai perangkat, termasuk:

- a. *Portable Gas Analyzers* : Alat portabel yang dapat digunakan di lapangan untuk mendeteksi dan mengukur konsentrasi metana secara langsung (Wilkinson, 2018).
- b. *Fixed IR Sensors* : Sensor yang dipasang di sekitar TPA untuk pemantauan berkelanjutan (Korb, 2015).

4. Fiber Optic Sensors

Sensor serat optik dapat digunakan untuk pemantauan metana di tempat-tempat yang sulit dijangkau. Teknologi ini melibatkan penggunaan serat optik yang ditempatkan di dalam atau di sekitar area TPA untuk mendeteksi kebocoran gas metana (Falate, 2005).

5. IoT (*Internet of Things*)

Penggunaan teknologi IoT dalam pemantauan emisi metana memungkinkan pengumpulan data secara real-time dan integrasi dengan sistem manajemen data (Rajkumar, 2017) :

- a. *Smart Sensors* : Sensor metana yang terhubung dengan jaringan IoT dapat mengirimkan data secara real-time ke pusat kontrol.



Analytics and Machine Learning : Analisis data dan pembelajaran mesin dapat digunakan untuk memprediksi pola emisi dan memberikan peringatan dini jika terdapat peningkatan signifikan dalam emisi metana.

6. Mass Spectrometry

Teknologi ini digunakan untuk analisis laboratorium yang sangat akurat, mampu mendeteksi konsentrasi gas metana hingga tingkat yang sangat rendah.

- a. *Portable Mass Spectrometers* : Digunakan di lapangan untuk pengukuran cepat dan akurat (Yang, Z., 2022)

7. Optical Gas Imaging (OGI)

Teknologi ini menggunakan kamera inframerah yang dirancang khusus untuk mendeteksi gas metana. OGI memungkinkan visualisasi kebocoran metana dalam bentuk gambar atau video (Zimmerle, 2020).

- a. *OGI Cameras* : Kamera yang dapat mendeteksi metana secara visual, sangat berguna untuk inspeksi dan deteksi kebocoran di lapangan.

Dengan menggunakan kombinasi teknologi ini, pemantauan dan deteksi emisi gas metana di TPA sampah dapat dilakukan dengan lebih efektif dan efisien, membantu mengurangi dampak lingkungan dan meningkatkan pengelolaan sampah.

2.7. Pemodelan Emisi GHG di TPA Menggunakan Software LandGEM

Landfill Gas (LFG) atau gas TPA dihasilkan oleh proses biologi dan kimia yang sedang berlangsung ketika sampah tertimbun di TPA. Komponen utama dari gas yang ada di TPA atau LFG adalah gas karbon dioksida (40-50%) dan gas metana (50-60%). Gas yang ada pada TPA seperti yang telah dibahas sebelumnya diproduksi oleh aktivitas mikroorganisme pada sampah yang *biodegradable* atau yang mudah terurai dan dalam kondisi anaerobic atau tanpa adanya oksigen. Gas Metana dan karbon dioksida merupakan komponen gas TPA (LFG) yang secara signifikan dan aktif memberikan kontribusi pada efek gas rumah kaca atau efek *GreenHouse Gas* (GHG) yang terjadi pada saat ini. Selain itu, gas metana juga merupakan salah satu gas penting dalam gas rumah kaca yang memiliki potensi 21 kali lebih besar dari gas karbon dioksida dalam memberikan efek pemanasan global atau *global warming*. Meskipun demikian, dalam beberapa kasus di berbagai TPA, sampah akan ditutupi oleh tanah 10 sampai 15 cm, untuk mengurangi emisi gas dan yang dihasilkan oleh TPA.

Beberapa studi penelitian telah dilakukan untuk memperkirakan jumlah gas yang dihasilkan oleh sampah yang ada di TPA. Beberapa pemodelan



telah didesain untuk menghitung emisi GHG, oksidasi dan juga jumlah produksi gas TPA. Dalam proses pemodelan gas TPA, terdapat faktor lokal yang cukup penting seperti komposisi sampah, tempat pembuangan, perlindungan terhadap dampak potensial yang akan mengarahkan pada pengembangan penggunaan pemodelan untuk berbagai macam fasilitas TPA. Pemodelan dan prediksi kecepatan produksi gas metana di TPA sangat penting untuk kepentingan operasional suatu TPA. Menghitung jumlah emisi gas metana yang dihasilkan oleh TPA dapat membantu negara Indonesia dalam kontribusinya terhadap emisi global berupa *Greenhouse gases* (GHGs). Terdapat beberapa metode dalam mengevaluasi emisi gas metana diantara yaitu eksperimen lapangan, penilaian lokasi TPA dan pemodelan matematika (Fallahizadeh et al., 2019).

Sejumlah penelitian telah mengukur dan menilai gas TPA dari lokasi pembuangan. Sejak saat itu, beberapa model telah dibuat untuk mengukur produksi gas TPA, oksidasi, dan emisi. Sayangnya, penggunaan perangkat lunak simulasi untuk merancang, operasi dan pemantauan tidak seluas dalam domain TPA dibandingkan dengan domain teknik lingkungan lainnya. Dalam skenario pemodelan TPA, pentingnya faktor-faktor seperti konfigurasi sampah, prosedur pembuangan dan perlindungan membuat pengembangan model dapat diterapkan pada berbagai fasilitas TPA. Kalibrasi perangkat lunak pemodelan terutama bergantung pada data yang diamati di TPA tertentu atau fasilitas terkait, yang tidak berkembang menjadi alat prediksi yang nyata. Namun, model-model ini masih berguna untuk estimasi perkiraan ketika prosedur lanjutan lainnya tidak dapat diakses. Berbagai penulis telah menjelaskan prosedur pemodelan yang menekankan pada degradasi sampah secara biologis dan kimiawi, yang mengarah pada emisi gas. Di antara model-model yang terintegrasi ini, perangkat lunak pemodelan LandGEM dibuat untuk memperkirakan emisi gas dari tempat pembuangan sampah (Alam *et al*, 2022). Selain pemodelan LandGEM terdapat pula pemodelan IPCC untuk mengetahui jumlah emisi GHG pada TPA. Pada penelitian Suryawan *et al*. (2020) yang membandingkan hasil antara kedua metode memperoleh *error*

m atau tingkat kesalahan perhitungan sebesar 0,42-4,3%. Pada penelitian menggunakan Software LandGEM, dikarenakan pada penelitian



sebelumnya oleh Mustika Sari (2018) telah menggunakan metode pemodelan IPCC.

Software LandGEM merupakan sebuah aplikasi perangkat lunak yang memiliki basis Microsoft Excel® yang telah dikembangkan oleh *United States Environmental Protection Agency* (US EPA) untuk memodelkan emisi yang dihasilkan oleh berbagai TPA yang ada di Amerika. Landfill Gas Emissions Model (LandGEM), dapat digunakan untuk membuat estimasi tingkat emisi gas metana, karbondioksida, senyawa organik nonmetana, dan polusi udara individual atau terkhusus pada satu polusi yang berasal dari landfill atau TPA. Program ini dapat digunakan oleh pemilik lahan landfill atau TPA dan operator untuk menentukan jika sebuah landfill atau TPA merupakan subject untuk melakukan pengontrolan pada persyaratan *New Source Performance Standar* (NSPS) atau Standar Kinerja Sumber Baru untuk MSW (*Municipal Solid Waste*) atau dapat menjadi pedoman emisi untuk MSW landfill yang telah ada sebelumnya (Alexander et al., 2005).

Pemodelan pada LandGEM berdasarkan pada turunan orde satu persamaan laju proses dekomposisi yang memiliki fungsi untuk mengukur emisi yang dihasilkan oleh sampah yang terdapat di TPA. Software ini menggunakan pendekatan yang sederhana dalam membuat estimasi atau perkiraan emisi gas yang dihasilkan TPA. Model bawaan dari software ini berdasarkan pada data empirik dari seluruh TPA di United States. Selain data bawaan software, dapat pula menggunakan data yang diperoleh dari lapangan langsung untuk menguji aplikasi tersebut.

Pemodelan pada software LandGEM menggunakan rumus pemodelan persamaan laju dekomposisi orde pertama yang ditunjukkan pada persamaan dibawah ini.

$$Q_{CH_4} = \sum_{i=1}^n \sum_{j=0.1}^1 kL_0 \left(\frac{M_i}{10}\right) e^{-kt_{ij}} \quad (2.1)$$

Dimana Q_{CH_4} adalah jumlah generasi gas metana dalam satu tahu tahun ($m^3/year$); i adalah kenaikan waktu satu tahun; n didefinisikan sebagai (tahun perhitungan)-(tahun awal penerimaan limbah); j adalah kenaikan waktu 0,1 tahun;

a ju produksi gas metana ($year^{-1}$); L_0 adalah kapasitas potensi produksi gas n^3/Mg ; M_i adalah berat sampah yang masuk dalam setiap tahunnya (Mg); umur massa sampah (Alexander et al., 2005).



Berdasarkan rumus diatas software LandGEM membutuhkan beberapa data agar dapat memperoleh hasil estimasi emisi gas metana (CH_4) yang dihasilkan oleh TPA. Adapun yang data dibutuhkan adalah (1) tahun pembukaan TPA, (2) tahun rencana penutupan TPA, (3) desain kapasitas TPA, (4) *Methane Generation Rate* (k), (5) *Methane Potential Generation Capacity* (L_0), (6) Konsentrasi NMOC (7) *Methane Content* dan (8) Jumlah Timbulan Sampah per tahunnya. *Methane Generation Rate* (k) merupakan nilai laju penguraian sampah (*decay rate*). Makin tinggi nilai k, maka laju produksi gas metana dan proses penguraian sampah makin cepat seiring berjalannya waktu. Nilai k berdasarkan pada empat faktor yaitu : (1) tersedianya nutrisi untuk microorganisme pengurai sampah, (2) pH massa sampah, (3) Kadar air sampah, dan (4) Suhu massa sampah. *Methane Potential Generation Capacity* (L_0) berdasarkan pada kuantitas sampah biodegradable, tingkat pemisahan, laju penggunaan atau ketersediaan mikroba pengurai, padatan yang mudah menguap, kondisi iklim seperti kelembapan dan suhu. NMOC (*Non Methane Organic Compound*) merupakan senyawa organik non gas metana yang dapat dihasilkan dan mempengaruhi reaksi proses biodegradasi sampah (Alexander et al., 2005).

2.8. Analisis Risiko

2.8.1. Konsep dan Definisi Risiko

Dampak yang menyebabkan gangguan kesehatan pada suatu organisme, sistem atau (sub) populasi akibat adanya pajanan suatu agen tertentu dalam jumlah dan dengan jalur pajanan tertentu disebut sebagai Risiko. Dalam ISO 3100 tentang standar manajemen risiko disebutkan definisi risiko adalah efek ketidakpastian terhadap sasaran atau ketidakpastian yang berdampak (beresiko) pada sasaran. Sebagai catatan efeknya adalah penyimpangan (deviasi) dari sasaran yang diharapkan. Dapat berupa efek positif, negatif atau keduanya, dan dapat mengatasi, menciptakan atau menghasilkan peluang dan ancaman. Sasaran yang disebutkan dapat memiliki aspek dan kategori yang berbeda dan dapat diterapkan pada tingkat berbeda. Risiko biasanya dinyatakan dalam sumber risiko, peristiwa potensial yang dapat terjadi, konsekuensinya dan kemungkinannya. Analisis yang dimaksudkan untuk memperkirakan dan menghitung risiko pada organisme sasaran, sistem atau populasi, termasuk identifikasi ketidakpastian



yang mengikutinya, setelah terpapar oleh agent tertentu, dengan memperhatikan karakteristik yang melekat pada agent yang menjadi perhatian dan karakteristik sistem sasaran yang spesifik merupakan peran dilakukannya analisis risiko. Risiko sangat dekat dengan yang namanya ketidakpastian atau *uncertainty* dari suatu sumber risiko. Oleh karena itu perlu dikaji terlebih dahulu konsep ketidakpastian dari suatu risiko (Wilson & Shlyakhter, 1997).

Paparan bahaya lingkungan yang menyebabkan risiko kesehatan manusia, dapat dilakukan penilaian dan penaksiran risiko menggunakan analisis risiko. Suatu *risk agent* atau situasi yang memiliki potensi menimbulkan efek merugikan pada suatu organisme, sistem atau populasi memiliki suatu sifat yang melekat padanya apabila suatu organisme, sistem atau populasi tersebut terpapar oleh *risk agent* itu dan hal tersebut disebut sebagai suatu bahaya. Terdapat 3 (tiga) jenis *risk agent* yang termasuk kedalam bahaya lingkungan, yaitu chemical agents (bahan-bahan kimia), physical agents (energi berbahaya) dan biological agents (makhluk hidup atau organisme). Analisis risiko dapat dilakukan untuk bahaya lingkungan yang paparannya telah lampau atau sudah terjadi (*post exposure*), dengan efek yang merugikan sudah terjadi ataupun belum terjadi, dapat pula dilakukan pada risiko yang diprediksi untuk paparan yang akan datang. Hasil dari dilakukannya analisis risiko dari suatu pajanan bahaya lingkungan bagi kesehatan manusia akan memiliki manfaat yang sangat berguna terutama bagi pemerintah ataupun pimpinan yang berwenang dalam pengambilan keputusan untuk melakukan manajemen pengendalian risiko kesehatan yang telah ada atau yang mungkin baru akan timbul dikemudian hari serta dapat digunakan untuk dijadikan sebagai dasar dilakukannya komunikasi risiko kepada seluruh sektor yang terkait (Lubis, 2018).

Hillson dan Webster (2004) berpendapat bahwa meskipun istilah risiko umum digunakan di kedua bidang yaitu sosial dan ekonomi, namun dalam teori dan praktiknya belum ada kesepakatan interpretasi. Namun berbagai organisasi profesional dan standar nasional serta internasional (seperti standar AS/NZS 4360 tahun 1999, Project Management Institute tahun 2000, British Standards Institute 00, dan Institution of Civil Engineers tahun 2002) yang membahas i risiko secara ilmiah, risiko semakin mendekati klarifikasi yang ensif dari konsep ini.



Adanya pandangan yang berbeda tidak menghalangi penerimaan risiko sebagai akibat dari dua dimensi: kemungkinan dan dampak (Hillson dan Hulett 2004). Kemungkinan berasal dari ketidakpastian terjadinya risiko. Dampak adalah efek dari kontinjensi. Potensi kejadian kerugian yang menunjukkan risiko (R) diterjemahkan dalam istilah matematis sebagai hasil dari produk ukuran dampak (I : *Impact*) dan kemungkinan (P : *Probability*).

Biaya risiko. Hal ini dapat mempengaruhi integritas lingkungan, properti dan individu yang dianggap sebagai "potensi bahaya" (Dumbravă & Vladut-Severian, 2013). Untuk alasan ini, para pemangku kepentingan ingin mengetahui "efek kejadian risiko (hasil), peluang terjadinya (probabilitas) dan tingkat keparahan atau dampaknya terhadap lingkungan yang terkena dampak". Setiap manajer risiko mengetahui bahwa risiko dalam proyek dapat disebabkan oleh toleransi terhadap penyimpangan dari inisiatif yang direncanakan. Perwujudan risiko pada akhirnya membutuhkan tanggung jawab. Menghindari perkembangan tekanan dalam proyek dan kepada pihak ketiga yang berkaitan dengan berbagai efek risiko dapat dilakukan dengan merancang, mengembangkan, dan menyajikan rencana risiko oleh manajer proyek. Dokumen ini akan memungkinkan identifikasi, perumusan, perhitungan, persiapan tindakan respons, pemantauan dan pengendalian risiko proyek (Dumbravă & Vladut-Severian, 2013).

2.8.2. Jenis-Jenis Ketidakpastian (*Uncertainty*) Risiko

Ketidakpastian dalam penilaian risiko berubah seiring dengan perkembangan informasi. Kita dapat mengatakan bahwa risiko kanker seumur hidup adalah 25%, yang berarti bahwa sekitar 25% dari semua orang akan terkena kanker selama hidupnya. Begitu seseorang terkena kanker, kita tidak bisa lagi menggambarkan situasi tersebut dengan istilah "risiko". Sudah pasti bahwa ia menderita kanker. Demikian pula, jika seseorang terbaring sekarat setelah kecelakaan mobil, risiko kematiannya akibat kanker jelas turun mendekati nol. Dengan demikian, perkiraan risiko, sejauh itu merupakan ekspresi ketidakpastian, akan berubah seiring dengan meningkatnya pengetahuan.



adaan pada suatu ketidakpastian muncul dalam setiap estimasi risiko
ara yang berbeda. Jelas ada risiko bahwa seseorang akan terbunuh oleh
a dia berjalan dengan mata tertutup di jalan yang ramai. Salah satu bagian

dari risiko ini bersifat stokastik; risiko ini bergantung pada apakah seseorang melangkah keluar dari trotoar pada saat yang tepat ketika sebuah mobil datang. Bagian lain dari risiko ini mungkin bersifat sistematis; ini akan tergantung pada kondisi alam dan fitur-fitur lain dari mobil. Demikian pula, jika dua orang adalah perokok berat, yang satu bisa saja meninggal.

Beberapa perkiraan ketidakpastian bersifat subyektif, dengan perbedaan pendapat yang muncul karena ada ketidaksepakatan di antara mereka yang menilai risiko. Misalkan kita ingin menilai risiko (terhadap manusia) dari beberapa bahan kimia baru yang dimasukkan ke dalam lingkungan atau teknologi baru. Tanpa informasi lebih lanjut, yang dapat kita katakan tentang ukuran risiko adalah bahwa risiko tersebut berada di antara nol dan satu. Pendapat ekstrem mungkin akan disuarakan: satu orang mungkin mengatakan bahwa kita harus mengasumsikan risiko persatuan, karena kita tidak tahu apakah bahan kimia atau teknologi tersebut aman; orang lain mungkin mengambil ekstrem yang berlawanan dan berpendapat bahwa kita harus mengasumsikan bahwa tidak ada risiko, karena tidak ada yang terbukti berbahaya. Di sini dan di tempat lain, kami berpendapat bahwa tugas penilai risiko adalah menggunakan informasi apa pun yang tersedia untuk mendapatkan angka antara nol dan satu untuk perkiraan risiko, dengan ketepatan yang setepat mungkin, bersama dengan perkiraan ketidaktepatannya. Dalam konteks ini, pernyataan "kami tidak tahu" hanya dapat dipandang sebagai penundaan dan bukan sebagai tanggapan terhadap permintaan perkiraan risiko (meskipun hal ini tidak berarti mengutuk penundaan dalam semua situasi).

Ekstrem kedua yang disajikan sebelumnya ternyata sangat umum terjadi, bahkan di beberapa lembaga pemerintah yang seharusnya memperhitungkan risiko dalam pembuatan peraturan. Hal ini dapat muncul setiap kali ada kecenderungan untuk mengabaikan apa pun yang tidak terbukti berbahaya. Kami menyatakan bahwa sikap seperti itu biasanya tidak konsisten secara logis dan memperingatkan setiap pengguna penilaian risiko tentang bahaya ini (Wilson & Shlyakhter, 1997).

2.8.3. Teori Kesalahan (*Theory of Error*)



Di matematika tentang kesalahan pengukuran telah berusia hampir dua abad atau "teori kesalahan". Sebagai contoh, ilmuwan terkenal Gauss, ketika melakukan pengukurannya terhadap lokasi geografis pegunungan Jerman,

menemukan metode "kuadrat terkecil" dan dengan sederhana menyatakan bahwa tidak ada ahli geografi sebelumnya yang pernah melakukan pengukuran seteliti itu. Dalam teorinya, setiap pengukuran diasumsikan independen secara statistik satu sama lain. Oleh karena itu, kesalahan pengukuran dapat "ditambahkan dalam kuadrat" (kuadrat dari kesalahan gabungan adalah jumlah kuadrat dari kesalahan komponen).

Kata "kesalahan (*error*)" yang digunakan dalam teori statistik formal memiliki konotasi lain ketika digunakan dalam diskusi kesehatan masyarakat dan kedokteran dan dapat berarti "kesalahan (*mistake*)" yang pelakunya dapat bertanggung jawab secara hukum dan ekonomi. Oleh karena itu, kata-kata "analisis ketidakpastian" menggantikan "teori kesalahan". Namun, bukan berarti kesalahan tidak dipertimbangkan oleh analisis risiko. Dalam analisis keselamatan reaktor, misalnya, peristiwa pemicu yang didalilkan sering kali merupakan kesalahan atau kekeliruan seseorang. Analisis frekuensi dan distribusi kesalahan ini merupakan masukan penting bagi analisis risiko probabilistik / *probabilistik risk analysis* (PRA) yang lengkap (Wilson & Shlyakhter, 1997).

2.8.4. Manajemen dan Tahapan Analisis Risiko

Analisa risiko merupakan kegiatan untuk menganalisis dan menilai suatu ketidakpastian dari suatu risiko atau sesuatu yang berbahaya yang berdampak negatif dari suatu objek terhadap objek lainnya agar dapat dilakukan tindakan pencegahan atau mitigasi yang tepat (Darbra et al., 2008). Analisa risiko memiliki beberapa tahapan menurut beberapa sumber. Menurut penelitian Lubis (2018), langkah-langkah dalam analisis risiko kesehatan dapat digambarkan dalam 4 (empat) langkah utama yaitu :

4. Identifikasi Bahaya/Risiko (*Hazard/Risk Identification*),

Identifikasi bahaya adalah upaya untuk mengenali struktur dan komposisi yang melekat dalam *risk agent* serta efek yang merugikan kesehatan (Louvar, 1998).

5. Analisis Pemaparan (*Exposure Assessment*),

Analisis pemaparan merupakan tahap kegiatan analisis risiko yang memiliki ketidakpastian BPOM RI (2011). Oleh karena itu pengukuran konsentrasi paparan akan mengurangi ketidakpastian dalam analisis pemaparan. Analisis Dosis Respon/Efek (*Dose Response Assessment/Effect Assessment*),

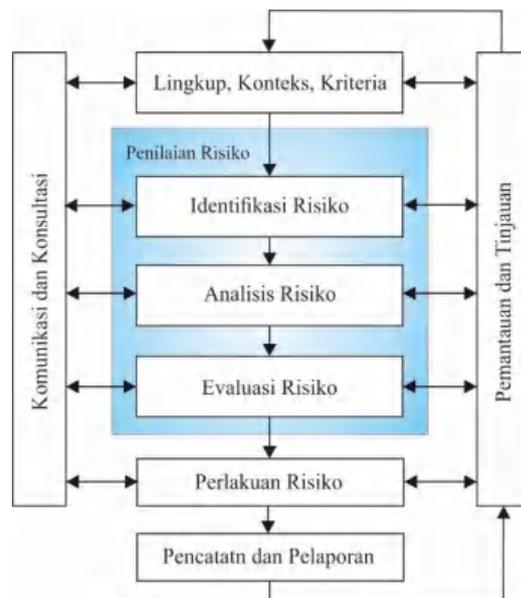


Menurut BPOM RI (2011) analisis efek adalah perkiraan hubungan antara dosis atau tingkat paparan pada suatu organisme, dengan insidensi dan tingkat efek yang dilibatkannya. Termasuk deskripsi hubungan kuantitatif antara derajat paparan terhadap suatu bahan kimia dengan derajat efek toksik.

7. Karakteristik Risiko (*Risk Characterization*)

Karakteristik risiko adalah perkiraan suatu risiko yang merugikan yang dapat terjadi pada manusia akibat dari pajanan yang dinyatakan dengan Risk Quotient (RQ). Perkiraan tersebut dapat dilakukan melalui estimasi risiko, yaitu kuantifikasi probabilitas terjadinya risiko berdasarkan identifikasi bahaya, analisis efek dan analisis pajanan.

Menurut ISO 31000 : 2018 tentang Manajemen Risiko, tahapan penilaian risiko terdiri atas tiga tahapan, dapat dilihat pada gambar berikut.



Sumber : ISO 31000 : 2018

Gambar 2.3 Gambaran Umum Manajemen Risiko Menurut Standar ISO 31000

1. Identifikasi Risiko

Sasaran dari identifikasi risiko adalah untuk menemukan, mengenali dan menjabarkan risiko yang dapat menunjang atau menghambat pencapaian sasaran

- i. Informasi yang relevan, memadai, dan mutakhir merupakan hal penting mengidentifikasi risiko. Berikut ini faktor-faktor dan keterkaitannya, yang pertimbangan:



- sumber risiko nyata dan tidak nyata;
- penyebab dan kejadian;
- ancaman dan peluang;
- kerentanan dan kemampuan;
- perubahan pada konteks eksternal dan internal;
- indikator timbulnya risiko;
- sifat dan nilai aset dan sumber daya;
- konsekuensi dan dampak risiko terhadap sasaran;
- keterbatasan pengetahuan dan keandalan informasi;
- faktor-faktor yang berkaitan dengan waktu;
- bias, asumsi dan anggapan dari para pihak yang terlibat.

Organisasi harus mengidentifikasi risiko, terlepas dari apakah sumber-sumber penyebabnya dapat dikendalikan atau tidak. Pertimbangan harus diberikan bahwa mungkin ada lebih dari satu jenis hasil, yang dapat mengakibatkan berbagai konsekuensi yang terukur atau tidak terukur.

2. Analisis Risiko

Tujuan dari analisis risiko adalah untuk memahami sifat dan karakteristik risiko termasuk peringkat risiko. Analisis risiko melibatkan pertimbangan rinci terkait dengan ketidakpastian, sumber risiko, konsekuensi, kemungkinan, peristiwa, skenario, pengendalian dan keefektifannya. Sebuah peristiwa dapat mempunyai banyak penyebab dan konsekuensi serta dapat mempengaruhi beberapa sasaran.

Analisis risiko dapat dilakukan dengan berbagai macam tingkat yang detail dan kompleks, tergantung pada sasaran analisis, ketersediaan dan keandalan informasi serta sumber daya yang tersedia. Teknik analisis digunakan dapat berbentuk kualitatif, kuantitatif atau kombinasi dari keduanya, tergantung pada keadaan dan sasaran penggunaan.

Analisis risiko harus mempertimbangkan faktor-faktor seperti:

- kemungkinan kejadian dan konsekuensi;



- sifat dan besarnya konsekuensi;
- kompleksitas dan keterkaitannya;
- faktor terkait waktu dan volatilitas;

- keefektifan pengendalian yang ada;
- sensitivitas dan tingkat kepercayaan analisis

Analisis risiko mungkin dipengaruhi oleh berbagai pendapat yang berbeda-beda, bias, persepsi risiko dan penilaian. Pengaruh lain adalah kualitas informasi yang digunakan, asumsi dan hal-hal yang dikecualikan, segala keterbatasan teknik dan bagaimana teknik tersebut dilaksanakan. Pengaruh ini harus dipertimbangkan, didokumentasikan dan dikomunikasikan kepada pengambil keputusan.

Suatu peristiwa dengan tingkat ketidakpastian yang tinggi akan sulit untuk dikuantifikasi/diukur. Ini bisa menjadi masalah ketika menganalisis suatu peristiwa yang mempunyai konsekuensi parah. Dalam keadaan semacam ini, menggunakan kombinasi teknik akan memberikan wawasan/pemahaman yang lebih baik.

Analisis risiko memberikan masukan untuk evaluasi risiko, memberikan keputusan apakah suatu risiko perlu perlakuan dan bagaimana perlakuannya, serta strategi dan metode perlakuan risiko yang paling tepat. Hasil analisis risiko memberikan pemahaman untuk pengambilan keputusan, ketika terdapat beberapa pilihan, dan pilihan yang melibatkan berbagai jenis dan peringkat risiko.

3. Evaluasi risiko.

Tujuan evaluasi risiko adalah untuk membantu proses pengambilan keputusan. Evaluasi risiko meliputi proses membandingkan hasil dari analisis risiko terhadap kriteria risiko yang telah ditentukan, untuk menetapkan apakah suatu tindakan lebih lanjut terhadap risiko diperlukan. Kondisi ini akan mengarah pada keputusan untuk:

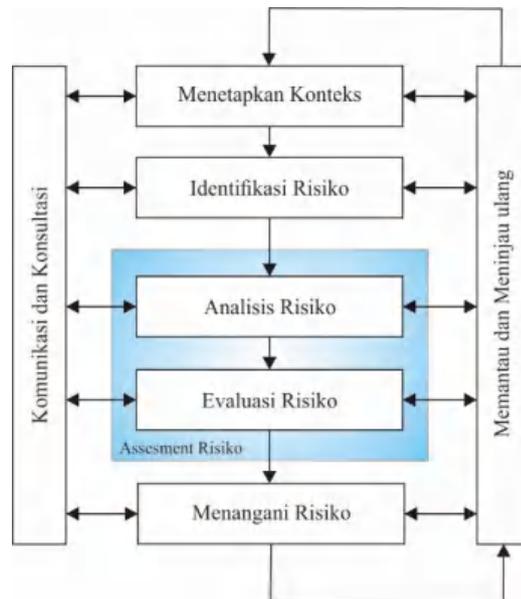
- tidak melakukan apa-apa lagi;
- pertimbangkan pilihan perlakuan risiko;
- melakukan analisis lebih lanjut untuk lebih memahami risiko;
- mempertahankan pengendalian risiko yang ada;
- mempertimbangkan kembali sasaran.

Keputusan sebaiknya mempertimbangkan konteks yang lebih luas dan konsekuensi aktual yang dipersepsikan oleh pemangku kepentingan eksternal dan internal. Hasil evaluasi risiko sebaiknya didokumentasikan, dikomunikasikan dan

1 divalidasi pada tingkat yang tepat dalam organisasi.

lar Manajemen Risiko AS/NZS 4360 Tahun 2004 juga menyebutkan tahapan manajemen risiko, yang dapat dilihat pada gambar berikut.





Sumber : AS/NZS 4360 : 2004

Gambar 2. 4 Gambaran Umum Manajemen Risiko Menurut Standar AS/NZS 4360 Tahun 2004

Adapun element-element manajemen risiko yang terdapat pada Gambar 2.3, adalah sebagai berikut :

1. *Establish the context* / Menetapkan Konteks

Menetapkan konteks strategis, organisasi dan manajemen risiko di mana seluruh proses selanjutnya akan berlangsung. Kriteria yang digunakan untuk mengevaluasi risiko yang akan dievaluasi harus ditetapkan dan struktur analisis harus ditentukan.

2. *Identify Risks* / Identifikasi Risiko

Mengidentifikasi apa, mengapa dan bagaimana sesuatu dapat muncul sebagai dasar untuk analisis lebih lanjut.

3. *Analyze Risks* / Analisis Risiko

Menentukan kontrol yang ada dan menganalisis risiko dalam hal konsekuensi dan kemungkinan dalam konteks pengendalian tersebut. Analisis tersebut harus mempertimbangkan berbagai konsekuensi potensial dan bagaimana kemungkinan tersebut akan terjadi. Konsekuensi dan kemungkinan dapat kan untuk menghasilkan perkiraan tingkat risiko.



Metode Analisis risiko ada berbagai macam salah satunya adalah *Probability impact matrix*. Metode *Probability Impact Matrix* adalah salah satu metode kualitatif yang umum digunakan untuk penilaian risiko. Dua komponen risiko sebenarnya adalah variabel dari matriks tersebut. Perhitungan risiko sangat sederhana mengingat kemungkinan dan dampak dari suatu peristiwa diberikan secara acak ke total yang dapat berupa klasifikasi tertentu. Setelah pemberian total (skor) untuk kemungkinan dan dampak kategori risiko yang diidentifikasi oleh manajer risiko atau anggota tim proyek akan dilanjutkan dengan mengalikan kedua variabel tersebut. Hasil dari operasi ini akan menghasilkan tingkat risiko.

4. *Evaluate Risk* / Evaluasi Risiko

Membandingkan estimasi tingkat risiko terhadap kriteria yang telah ditetapkan sebelumnya. Hal ini memungkinkan risiko untuk diberi peringkat sehingga dapat mengidentifikasi prioritas manajemen. Jika tingkat risiko yang ditetapkan rendah, maka risiko dapat dalam kategori yang dapat diterima dan penanganan mungkin tidak diperlukan.

5. *Treat Risks* / Menangani Risiko

Menerima dan memantau risiko-risiko dengan prioritas rendah. Untuk risiko-risiko lainnya, mengembangkan dan menerapkan rencana manajemen khusus yang mencakup pertimbangan pembiayaan.

6. *Monitor and Review* / Memantau dan Meninjau

Memantau dan meninjau kinerja sistem manajemen risiko dan perubahan-perubahan yang mungkin mempengaruhinya.

7. *Communicate and Consult* / Komunikasi dan Konsultasi

Komunikasi dan konsultasi dengan pemangku kepentingan internal dan eksternal pada setiap tahap proses manajemen risiko dan membahas proses tersebut secara keseluruhan.

Manajemen risiko dapat diterapkan di berbagai tingkatan dalam sebuah organisasi. Hal ini dapat diterapkan di tingkat strategis dan di tingkat operasional. Hal ini dapat diterapkan untuk proyek-proyek tertentu, untuk u dengan keputusan tertentu atau untuk mengelola area risiko yang telah Manajemen risiko adalah proses berulang yang dapat berkontribusi pada



perbaikan organisasi. Dengan setiap siklus, kriteria risiko dapat diperkuat untuk mencapai tingkat manajemen risiko yang semakin baik.

Manajemen Risiko dalam buku panduan *Environmental Risk Assessment* yang ditulis oleh (Alijoyo et al., 2020), terdapat 5 tahap dalam melakukan analisa risiko lingkungan, yaitu :

1. *Problem Formulation,*

Menentukan atau mendefinisikan ruang lingkup, konteks, dan kriteria yang akan digunakan untuk menilai² risiko yang ingin diteliti. Ruang lingkup, konteks, dan kriteria yang dimaksud tidak berbeda dengan pembahasan yang ada pada langkah pertama dalam proses manajemen risiko berdasarkan ISO 31000:2018. Anda diminta untuk menentukan batasan-batasan mengenai risiko apa yang akan diteliti, konteks dari risiko itu sendiri, serta menentukan kriteria dampak dan kemungkinan dari suatu risiko.

2. *Risk Identification,*

Setelah menentukan ruang lingkup, konteks, dan kriteria, langkah selanjutnya adalah melakukan identifikasi terhadap risiko apa saja yang mungkin muncul. Tujuan dari tahap ini adalah menemukannya sebanyak-banyaknya risiko yang berpotensi muncul dalam aktivitas-aktivitas organisasi. Menemukan banyak risiko bukanlah merupakan hal yang negatif. Perlu diingat bahwa proses yang dilakukan dalam teknik ini adalah menemukannya risiko yang mungkin muncul.

3. *Exposure Assessment,*

Pada tahap ini Anda akan melakukan analisis dan evaluasi terkait dengan kemungkinan terjadi dan dampak dari risiko yang telah teridentifikasi dengan cara menentukan besaran eksposur/skor dampak dan kemungkinan untuk setiap risiko tersebut. Untuk menentukan eksposur ini, Anda memerlukan kriteria dampak dan kemungkinan yang harus sudah disusun pada tahap problem formulation di bagian kriteria. Penentuan eksposur risiko juga harus menggunakan skenario terburuk (worst case scenario) untuk masing-masing dampak dan kemungkinan. Sementara itu, pada bagian evaluasi Anda diminta untuk menentukan peneringkatan untuk

isiko.

Characterization,



Tahap ini bisa juga disebut tahap untuk menggabungkan nilai kemungkinan dan dampak setiap risiko menjadi satu ukuran. Penggabungan ini dapat dilakukan dengan cara memasukkan fungsi: kemungkinan x dampak. Lebih lanjut, hasil penggabungan tersebut akan diolah menjadi suatu pemeringkatan. Tujuan dari pemeringkatan ini adalah untuk mengkategorisasi atau mengkarakterisasi masing-masing risiko agar dapat dikelompokkan menjadi beberapa kelompok. Di samping itu, pada tahap ini Anda juga diminta untuk mempertimbangkan seberapa lama waktu/durasi dari suatu dampak akan berlangsung.

5. *Risk Mitigation*

Setelah menentukan eksposur dan melakukan kategorisasi untuk setiap risiko yang telah diidentifikasi, langkah selanjutnya adalah menentukan rencana perlakuan apa yang perlu dilakukan untuk menghadapi risiko tersebut. Rencana perlakuan dapat dibagi menjadi dua tipe. Tipe pertama adalah rencana perlakuan untuk mengurangi tingkat kemungkinan terjadinya suatu risiko. Sementara itu, tipe kedua adalah rencana perlakuan untuk mengurangi dampak apabila suatu risiko terjadi atau tidak bisa dihindari.

Pada dasarnya, rencana perlakuan risiko merupakan bentuk lain dari pengendalian. Pada praktiknya, pengendalian dapat dibagi ke dalam tiga jenis, yaitu kendali preventif, detektif, dan korektif.

1. Kendali preventif dilakukan untuk mengurangi tingkat kemungkinan terjadinya risiko.
2. Kendali detektif dilakukan dalam rangka mencari tahu atau mendeteksi suatu peristiwa risiko.
3. Kendali korektif dilakukan sebagai langkah perbaikan jika suatu peristiwa risiko telah terjadi agar dapat mengurangi besaran konsekuensi yang ditanggung.



2.9. Penelitian Terdahulu

Tabel 2. 4 Penelitian Terdahulu

| No | Judul Penelitian | Sumber Literatur | Metode | Hasil Penelitian |
|----|---|----------------------|--|--|
| 1 | <i>Risk Assesment of Landfill Disposal Sites – State of the art</i> | (Butt et al., 2008) | Paper ini menggunakan metode <i>literature rivew</i> dengan membuat perbandingan antar sumber literatur | Hasil dari pembahasan pada paper ini menyajikan berbagai macam sumber publikasi literatur mengenai <i>Risk Assesment</i> dengan membandingkan element yang hadir dan tidak hadir pada setiap metode <i>Risk Assesment</i> yang ada. Hasil perbandingan tersebut memungkinkan untuk mengenali kebutuhan, mengidentifikasi kesenjangan pengetahuan dalam melakukan <i>Risk Assesment</i> pada suatu <i>Landfill/TPA</i> . |
| 2 | <i>Calculation of CH₄ and CO₂ Emission Rate in Kahrizak Landfill Site with LandGEM Mathematical Model</i> | (Atabi et al., 2014) | Metode penelitian pada jurnal ini adalah melakukan pemodelan estimasi emisi gas metana dan karbondioksida yang dihasilkan oleh <i>Landfill/TPA</i> menggunakan aplikasi pemodelan LandGEM yang diterbitkan oleh U.S. EPA. Validasi pemodelannya dengan cara membandingkan hasil pemodelan dan hasil pengukuran SPM serta melakukan perbandingan sensitivitas | Objek <i>Landfill</i> pemodelan adalah Kahrizak <i>Landfill</i> yang terletak di Teherean, Iran dengan berat timbulan sampah rata-rata 2,2 juta ton. Hasil pemodelan diperoleh hasil 17,836,079 ton CO ₂ -eq dan mengomsumsi energi sebesar 9,2 x 10 ⁹ juta Joule setiap tahunnya. Dengan melakukan recovery gas dan ekstraksi energi mampu memberikan efisiensi sebesar 75% dan dapat menurunkan emisi GHG kurang lebih 557,633 ton CO ₂ -eq. Selain itu, pemulihan gas dari bahan limbah TPA dapat digunakan untuk menghasilkan listrik dan diterapkan dalam teknologi sel bahan bakar dan pembangkit listrik dan panas gabungan (CHP) yang menghasilkan penurunan tingkat emisi karbon dioksida secara dramatis dan peningkatan efisiensi bahan bakar serta menghasilkan pendapatan melalui penjualan pengurangan emisi. |



| | | | dari parameter pemodelan | |
|---|--|------------------------------|--|--|
| 3 | <i>Estimation of Green House Gas (GHG) Emission at Telaga Punggur Landfill using triangular, LandGEM, dan IPCC Methods</i> | (Yodi et al., 2020) | Penelitian pada jurnal ini melakukan perhitungan estimasi emisi GHG menggunakan tiga metode pemodelan yaitu <i>Triangular, LandGEM, dan IPCC</i> . Hasil pemodelan setiap metode saling dibandingkan untuk mengetahui perbedaan setiap metode pemodelan. | Hasil estimasi ketiga pemodelan diperoleh hasil <i>Peak Landfill Gas</i> atau nilai tertinggi emisi gas dari TPA sebesar $2,3 \times 10^7 \text{ m}^3/\text{year}$ (Metode LandGEM), $2,2 \times 10^7 \text{ m}^3/\text{year}$ (Metode IPCC) dan $1,5 \times 10^7 \text{ m}^3/\text{year}$ (Metode Triangular). Kesalahan perhitungan antara LandGEM dan IPCC hanya sebesar 0,42-4,3% pada tahun 2014-2021. Untuk mendukung perhitungan tersebut, diperlukan pemantauan kualitas udara lebih lanjut di lapangan. |
| 4 | <i>Estimation of Methane Gas by LandGEM Model from Yasuj Municipal Solid Waste Landfill, Iran</i> | (Fallahizadeh et al., 2019a) | Pada jurnal ini membuat estimasi jumlah emisi gas metana menggunakan <i>software LandGEM</i> | Hasil pemodelan estimasi emisi gas metana yang dihasilkan oleh Yasuj <i>landfill</i> , diperoleh puncak emisi gas metana pada tahun 2010-2012 dengan jumlah emisi sebesar $1,928 \times 10^3 \text{ Mg/year}$. Hasil dari penelitian saat ini dapat digunakan untuk menghitung energi perencanaan produksi energi dan penggunaan lain dari gas TPA dan serta menentukan kontribusi Iran emisi global gas rumah kaca. |
| 5 | <i>Landfill Impacts on the Environment - Review</i> | (Vaverková, 2019) | Melakukan studi komparatif terhadap berbagai macam metode <i>Waste Management</i> dari beberapa negara dan melakukan studi literature mengenai dampak | Paper ini menyajikan beberapa teori terhadap beberapa dampak potensial pencemaran yang dihasilkan oleh <i>Landfill</i> atau TPA terhadap lingkungan. Adapun beberapa dampak potensialnya adalah pencemaran air (<i>Water Pollution</i>), pencemaran udara (<i>Air Pollution</i>), pencemaran tanah (<i>Soil Pollution</i>) dan <i>Natural Environment</i> . Berdasarkan diskusi pada jurnal, diperoleh kesimpulan bahwa di banyak |



| | | | | |
|---|---|------------------------|--|---|
| | | | <i>Landfill</i> atau TPA terhadap lingkungan disekitarnya. | negara, penimbunan sampah tetap menjadi metode dominan dalam pengelolaan sampah kota. TPA terus menjadi salah satu metode utama dalam pembuangan sampah meskipun potensinya relatif tinggi untuk mencemari lingkungan. Oleh karena itu, pemantauan TPA secara teratur diperlukan untuk mengidentifikasi dan menentukan bahaya TPA bagi lingkungan. |
| 6 | <i>Beyond CO₂ equivalence : The impact of methane on climate, ecosystems, and health</i> | (Mar et al., 2022b) | Artikel ini menggunakan metode review dari beberapa artikel yang ada pada database jurnal. | Artikel ini mereview sifat fisik dan kimia metana (CH ₄) yang berkaitan dengan dampaknya terhadap iklim, ekosistem, dan polusi udara, dan memeriksa sejauh mana hal ini tercermin dalam tata kelola tata kelola. Fokus pada kesetaraan CO ₂ di bawah UNFCCC juga mengarah pada kesenjangan informasi dan transparansi. |
| 7 | <i>A review of environmental health impact from municipal solid waste (MSW) landfill</i> | (Khoiron et al., 2020) | Sumber data penelitian ini berasal dari literatur-literatur yang diperoleh melalui internet berupa artikel jurnal ilmiah yang dapat ditelusuri secara online. Kajian dalam tulisan ini berfokus pada pembahasan beberapa artikel ilmiah dalam jurnal internasional ternama yang melakukan penelitian terkait dampak TPA Sampah Kota. | Hasil yang diperoleh dari artikel ini adalah dampak lingkungan yang ditimbulkan adalah: polutan kimiawi seperti logam berat (Cd, Cr, Fe, Ni, Pb, Zn, Mg), gas metana, H ₂ S, CO, mikroorganisme seperti Coliform, Clostridia Sedangkan dampak kesehatan yang ditimbulkan adalah gejala iritasi kulit, iritasi mata, gangguan saluran pencernaan, alergi, iritasi hidung, dan gejala lainnya. Sedangkan risiko kanker adalah risiko yang sangat rendah. |



| | | | | |
|---|---|-------------------|---|--|
| 8 | <i>Methane Dispersion Model Due To Explosion Or Leakage In Refinery Unit Using Aloha Software</i> | (Setyono, 2018) | Penelitian pada artikel ini melakukan analisis dispersi gas metana menggunakan <i>software</i> ALOHA 5.4.7. pada 2 titik pengamatan. | Hasil analisis dengan menggunakan ALOHA 5.4.7 menunjukkan jarak terjauh pada model pipeline source adalah 7300 meter untuk flammable area dan 996 meter untuk toxic area. Sedangkan jarak terjauh pada model tank source adalah 248 meter untuk flammable area dan 46 meter untuk toxic area. Jarak terjauh ini terjadi pada kondisi kecepatan angin minimal (1,22 knot) dan stabilitas atmosfer F (stabil) serta tekanan 1,5 kg/cm ² untuk tank source. Setelah melakukan analisis, kemudian dapat melakukan penilaian potensi risiko dan manajemen risiko. Manajemen risiko dapat digunakan sebagai acuan dalam membuat SOP. |
| 9 | <i>Health risk assessment of volatile organic compounds (VOCs) emitted from landfill working surface via dispersion simulation enhanced by probability analysis</i> | (Li et al., 2023) | Studi ini menggunakan pendekatan probabilistik untuk menilai risiko kesehatan dari VOC dengan menggabungkan model jaringan syaraf buatan untuk tingkat emisi dan model dispersi numerik yang ditingkatkan dengan analisis probabilitas. | Risiko individual dan kumulatif risiko non-karsinogenik dari VOC tipikal dapat diterima dengan semua nilai kurang dari 1 dalam keseluruhan studi domain. Untuk risiko karsinogenik individual, hanya etilbenzena, benzena, kloroform, dan 1, 2-dikloroetana pada konsentrasi ekstrem menunjukkan risiko kecil atau sedang dengan probabilitas 0,1%-1% dan jarak dampak 650-3000 m pada arah tertentu. Risiko karsinogenik kumulatif juga dapat diterima dengan probabilitas 95% di seluruh domain studi, tetapi melebihi 1×10^{-6} atau bahkan 1×10^{-4} pada beberapa kondisi ekstrem, terutama di dalam area TPA. pengembangan pemantauan cepat dan teknologi peringatan dini untuk pengendalian risiko kesehatan masih diperlukan di masa masa depan, dan Meningkatkan akurasi prediksi dispersi VOC juga merupakan tantangan pada beberapa kondisi cuaca khusus. |



| | | | | |
|----|--|-------------------------|--|---|
| 10 | <i>Evaluation of methane emission from Palermo municipal landfill : Comparison between field measurements and models</i> | (Di Bella et al., 2011) | Penelitian pada jurnal ini melakukan evaluasi emisi gas metana (CH ₄) pada TPA di Palermo, Italia dengan cara melakukan pengukuran langsung menggunakan metode <i>Flux Accumulation Chamber</i> lalu kemudian dibandingkan dengan hasil pemodelan matematika (<i>mass balance</i>) untuk memperoleh jumlah emisi gas metana. | Hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa kedua metode berada dalam kesesuaian yang baik atau hasil antara pengukuran langsung dan pemodelan matematika seperti LandGEM memiliki hasil yang tidak jauh berbeda, meskipun pemodelan neraca kesetimbangan memberikan nilai produksi yang sedikit lebih tinggi. Selain itu, metode pengukuran <i>Flux Accumulation Chamber</i> diperoleh dapat diandalkan dan mudah digunakan, dan peta fluks berkontur yang diperoleh, dari analisis data yang diukur menggunakan metode statistik dan geostatistik, ternyata cocok sebagai alat untuk mengidentifikasi area dengan emisi yang tidak normal (tinggi) |
| 11 | <i>Application of LandGEM Mathematical Model For The Estimation Of Gas Emissions From Contaminated Sites. A Case Study of A Dumping Site in Lahore, Pakistan</i> | (Alam et al., 2022) | Penelitian ini juga memodelkan emisi gas yang dihasilkan oleh suatu <i>landfill</i> yang berada di Pakistan menggunakan aplikasi pemodelan matematika LandGEM | Hasil yang diperoleh dari pemodelan yang dilakukan yaitu pada tahun awal tahun 1997 emisi yang dihasilkan sebesar $1,150 \times 10^3$ Mg/year. Kemudian mencapai puncak emisi gas metana pada tahun 2014-2015 sebesar $4,049 \times 10^3$ Mg/year hingga $4,654 \times 10^3$ Mg/year. |
| 12 | <i>Estimation of Landfill gas Generation in a Municipal Solid Waste Disposal Site by LandGEM Mathematical Model</i> | (Hosseini et al., 2018) | Pada artikel ini melakukan penelitian estimasi emisi gas metana menggunakan <i>software</i> LandGEM dengan membandingkan 5 kota sumber penyumbang | Pada artikel ini diperoleh hasil densitas dari sampah pada objek studi sebesar 268 kg/m^3 . Diperoleh hasil gas metana yang dihasilkan setelah 20 tahun sebesar $4,371 \times 10^8 \text{ m}^3$. Berdasarkan hasil yang diperoleh musim panas akan menghasilkan gas dalam kapasitas maksimum dan pada musim dingin akan menghasilkan gas kapasitas minimum. |



| | | | | |
|----|--|---------------------------------|--|--|
| | | | sampah ke TPA. Kemudian hasil pemodelan emisi tersebut dibuatkan gambar kontur menggunakan aplikasi GIS. | |
| 13 | Estimasi Emisi Gas Rumah Kaca (<i>Greenhouse Gas</i>) Pada Pengelolaan Sampah Domestik di TPA Talangagung Kabupaten Malang | (Mandayani, 2015) | Penelitian ini melakukan pemodelan emisi gas metana (CH ₄) pada TPA Talangagung Malang menggunakan metode pemodelan IPCC 2006 dan melakukan proyeksi emisi tahun 2014-2024 | Hasil penelitian ini diperoleh berat emisi GRK (GHG) tahun 2014 sebesar 2,5653 Gg CO ₂ -eq dengan jumlah timbunan sampah sebesar 209.078 Ton/tahun dan tahun 2024 sebesar 10,1738 Gg CO ₂ -eq dengan timbunan sampah sebesar 234.337 Ton/tahun. Persentase emisi dari aktivitas penimbunan <i>Open Dumping</i> 37,14%; <i>Open burning</i> 27,84%; penimbunan <i>Controlled Landfill</i> 26,37%; dan pengomposan 10,64%. |
| 14 | Estimasi Emisi Metana (CH ₄) dari TPA Tamangapa | (Mustika Sari, 2018) | Penelitian ini menghitung estimasi emisi gas metana TPA Tamangapa Makassar menggunakan rumus acuan IPCC 2006 yang kemudian diproyeksikan pada tahun 2016-2026 | Hasil penelitian yang diperoleh emisi gas metana di TPA Tamangapa pada tahun 2016 sebesar 2,24 Gg/tahun dengan jumlah timbunan sampah sebesar 237.851.884 kg/tahun dan pada tahun 2026 emisi gas metana sebesar 4.968 Gg/tahun dengan jumlah proyeksi timbunan sampah sebesar 267.127.337,7 kg/tahun. |
| 15 | <i>Literature Review</i> : Gangguan Saluran Pernapasan Akibat pencemaran udara di lingkungan tempat | (Hidayatullah & Mulasari, 2020) | Jurnal ini menggunakan metode <i>Literature Review</i> pada database <i>google scholar</i> dan http://garuda.stekbrin.go.id/ dengan kata | Hasil review menunjukkan adanya komponen gas yang mengakibatkan gangguan pernapasan seperti batuk, pilek, nyeri dada, pusing, mual, iritasi mata, demam, sakit tenggorokan, mengi, sesak napas, maupun mengakibatkan gangguan tidur. Terdapat faktor risiko yang meningkatkan gangguan pernapasan yaitu |



| | | | | |
|----|--|---------------------------------|---|---|
| | Pembuangan Akhir (TPA) | | kunci “risiko kesehatan akibat sampah”, “risiko kesehatan paparan gas” “gangguan pernapasan akibat sampah”, “keluhan pernapasan akibat sampah”, serta “pengaruh paparan gas TPA”. dan diperoleh 58 Artikel yang sesuai dengan kata kunci. | umur, waktu paparan, konsentrasi gas dan kualitas mikrobiologi udara yang melebihi standar, tingkat pendidikan, jarak tempat tinggal dengan TPA, penggunaan APD saat bekerja, serta kebiasaan merokok. |
| 16 | Pengaruh Paparan Gas Metana (CH ₄), Karbondioksida (CO ₂) dan Hidrogen Sulfida (H ₂ S) Terhadap Keluhan Gangguan Pernapasan Pemulung di Tempat Pembuangan Akhir (TPA) Sampah Klotok Kota Kediri | (Ratih, 2014) | Penelitian ini berupa observational analitik dengan pendekatan <i>cross sectional</i> . Uji pengaruh paparan gas CH ₄ , CO ₂ , dan H ₂ S menggunakan Uji Fisher. Ukuran kekuatan hubungan antara variabel dependen dan independen menggunakan Rasio Odds (RO). | Hasil penelitian yang diperoleh konsentrasi gas CH ₄ dan H ₂ S melebihi baku mutu, sedangkan CO ₂ tidak melebihi baku mutu. Berdasarkan hasil uji Fisher menunjukkan ada pengaruh paparan gas CH ₄ dan H ₂ S terhadap gangguan pernapasan, sedangkan CO ₂ tidak ada pengaruh. Nilai RO untuk CH ₄ yaitu 0,101 dengan probabilitas menderita keluhan gangguan pernapasan sebesar 9,2 %, sedangkan RO H ₂ S yaitu 0,137 dengan probabilitas menderita gangguan pernapasan sebesar 12 %. |
| 17 | Environmental and Socio-economic impact of landfills | (Danthure bandara et al., 2013) | Artikel ini menggunakan metode literatur review untuk membahas dampak | Hasil pembahasan pada artikel ini, menyajikan beberapa pembahasan dan analisis mengenai dampak lingkungan dan sosial-ekonomi yang diakibatkan oleh TPA. Dampak |



| | | | | |
|----|--|-----------------|---|--|
| | | | lingkungan dan sosial-ekonomi yang terkait dengan TPA dan menyajikan pendekatan pemodelan yang ada untuk menilai dampak-dampak tersebut. | yang ditinjau dari faktor <i>Landfill Gas</i> dan Lindi (<i>Leachate</i>). |
| 18 | Biaya Polusi Udara yang Timbul Akibat Bertambahnya Volume Kendaraan di Kota Banda Aceh | (Ilyas, 2019) | Penelitian ini menggunakan metode teknik purposive sampling untuk memperoleh data. Data yang diambil yaitu 50 responden terkait dengan penderita penyakit akibat polusi udara | Hasil penelitian menunjukkan Total rata-rata biaya yang dikeluarkan penderita asma adalah sebesar Rp. 5.500.000 dengan rincian biaya opname sebesar Rp. 2.600.000 dan biaya rawat jalan sebesar 2.900.000. Total rata-rata biaya yang dikeluarkan penderita ISPA adalah sebesar Rp. 6.500.000 dengan rincian biaya opname sebesar Rp. 3.100.000 dan biaya rawat jalan sebesar 3.400.000. Penderita ISPA di Kota Banda Aceh pada tahun 2017 mencapai 7.515 jiwa. Jika semua penderita ISPA memilih untuk menjalani rawat inap maka biaya kotor yang harus dikeluarkan mencapai Rp 48.847.500.000. |
| 19 | Kajian Penerapan Penilaian Indeks Resiko Tempat Penimbunan Sampah di Indonesia | (Darwati, 2010) | Artikel ini menggunakan Metode pengumpulan data berupa tinjauan literatur, observasi lapangan, wawancara dan kajian studi yang sudah dilakukan sebelumnya. Melakukan review penggunaan metodologi | Dalam penilaian lingkungan dapat digunakan alat atau metode pengambilan keputusan dengan IRBA (<i>INTEGRATED RISK BASED APPROACH</i>). IRBA digunakan sebagai alat untuk menilai status lingkungan TPA dimana parameter yang dipakai disesuaikan dengan kondisi di Indonesia. Status lingkungan TPA digunakan untuk menentukan prioritas penanganan TPA dan menentukan tindakan penutupan atau rehabilitasi perbaikan TPA lama untuk digunakan kembali dengan sistem penimbunan sampah yang |



| | | | | |
|----|--|---------------|--|---|
| | | | IRBA (<i>Integrated Risk Based Approach</i>) untuk menilai risiko pada TPA. | terkendali. |
| 20 | Analisis Resiko Lingkungan pada Tempat Pembuangan Akhir (TPA) Sampah (Studi Kasus : TPA Piyungan Bantul) | (Kasam, 2011) | Dalam studi ini dilakukan identifikasi dan analisis risiko lingkungan berdasarkan konsep manajemen risiko lingkungan dengan menggunakan metode kualitatif dan metode semi kuantitatif. | Berdasarkan hasil identifikasi risiko dan analisis risiko terdapat empat komponen lingkungan yang mempunyai risiko tinggi yaitu pencemaran udara, pencemaran air tanah, berkurangnya estetika lingkungan dan pencemaran air permukaan yang disebabkan adanya timbulan gas, aliran lindi, rembesan lindi pada tanah serta bau. |

