

Analisa Risiko Emisi GHG terhadap Kesehatan Masyarakat di Sekitar TPA Tamangapa di Kota Makassar

Nurfadillah¹, Imam Hafidz Imran²

¹Universitas Sawerigading Makassar, ²Universitas Hasanuddin Makassar

¹dilahnurfadilah01@gmail.com, ²hafidz.imambilogi@gmail.com

Abstrak

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. IPCC tahun 2022 dalam menyebutkan bahwa sektor limbah merupakan penyumbang emisi Gas Rumah Kaca (GRK) sebesar 3,9% dari total emisi GRK lainnya. Salah satu gas rumah kaca berbahaya yang dihasilkan oleh sampah di TPA bagi kesehatan dan kondisi iklim, menurut Protokol Kyoto (1997) adalah gas metana (CH_4) (Lando et al., 2021). TPA Tamangapa telah menjadi tempat pembuangan sampah di kota Makassar selama hampir 30 tahun, dengan rata-rata timbunan sampah perhari mencapai 300-700 ton perhari. Tujuan penelitian ini adalah menghitung besaran potensi emisi gas CH_4 di TPA Tamangapa menggunakan software LandGEM v.3.02 dan potensi risiko lingkungan berupa besaran risiko beban ekonomi yang ditimbulkan akibat gangguan pernapasan masyarakat yang disebabkan oleh paparan emisi gas metana (CH_4) TPA Tamangapa. Berdasarkan hasil penelitian, diperoleh hasil berupa produksi gas CH_4 dari proses degradasi sampah di TPA Tamangapa dengan menggunakan software pemodelan LandGEM mulai tahun 1995 adalah sebesar $6,921 \times 10^2$ Mg/tahun, kemudian mengalami peningkatan hingga tahun 2026 sebesar $1,964 \times 10^4$ Mg/tahun. Total biaya risiko kerugian ekonomi atau beban ekonomi berupa biaya pengobatan yang harus dikeluarkan oleh masyarakat sekitar TPA Tamangapa sebesar Rp. 959.320.000 pada tahun 2019 dan didapatkan hasil total biaya risiko per emisi sebesar Rp. 61.199,299/Mg emisi CH_4 .

Kata kunci : Emisi Gas Rumah Kaca, Gas metana (CH_4), TPA, LandGEM, Analisa Risiko.

Abstract

Waste in landfills buried for several years will cause several ecological risks, including greenhouse gas emission pollution. IPCC (2022) states that the waste sector contributes to greenhouse gas emissions. One of the greenhouse gases harmful to health and climate conditions, according to the Kyoto Protocol (1997),

produced by the waste in landfills is methane gas (CH_4). Tamangapa landfill has been a waste disposal site in Makassar city for almost 30 years, with an average daily waste generation of 300-700 tons per day. The purpose of this study is to calculate the potential CH_4 gas emissions at the Tamangapa landfill using LandGEM v.3.02 software and potential environmental risks in the form of health problems due to exposure to methane (CH_4) gas emissions experienced by the community around Tamangapa landfill. Based on the results of the study, the amount of methane gas emissions (CH_4) generated from the waste degradation process at Tamangapa landfill using LandGEM modeling software starting in 1995 was 6.921×10^2 Mg/year, then increased until 2026 by 1.964×10^4 Mg/year. Total risk cost of economic losses or economic burden in the form of medical costs that must be incurred by the community around Tamangapa landfill amounting to Rp. 959,320,000 in 2019 and obtained the results of the total risk cost per emission of Rp. 61,199.299 / Mg CH_4 emissions.

Keywords : Greenhouse Gas Emissions, Methane Gas (CH_4), Landfill, LandGEM, Risk Analysis.

I. PENDAHULUAN

Produksi limbah padat perkotaan saat ini mengalami peningkatan akibat adanya perkembangan sosio-ekonomi, perkembangan teknologi dan peningkatan jumlah penduduk masyarakat perkotaan. Penduduk kota Makassar tahun 2021 tercatat sebanyak 1.427.619 jiwa, dengan pertumbuhan penduduk dari tahun 2020 ke 2021 sebesar 0,26 % menurut data BPS Kota Makassar tahun 2022. Pada tahun 2020 tercatat pada data UPTD TPA Tamangapa, jumlah timbunan sampah yang masuk ke TPA mencapai 255.565,015 ton sampah dengan rata-rata timbunan sampah perhari mencapai 699,44 ton.

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 (UPTD TPA Tamangapa, 2020). 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 resiko yang ditimbulkan adalah terjadinya perubahan iklim dan gangguan kesehatan akibat pencemaran emisi gas rumah kaca yang dihasilkan oleh proses dekomposisi sampah organik yang ada di TPA. Pada laporan IPCC (2006), sektor limbah (*waste*) merupakan salah satu penyumbang emisi gas rumah kaca atau *Greenhouses Gas* (GHG) di bumi dengan kontribusi sebesar 3 – 4% dari emisi gas rumah kaca (GHG) global (Purwanta, 2016). Pada Protokol Kyoto menyebutkan ada enam gas rumah kaca yang cukup berbahaya bagi kondisi iklim diantaranya adalah gas *carbon dioxide* (CO₂), *nitrous oxide* (N₂O), *hydro fluorocarbons* (HFCs), *per fluorocarbons* (PFC's) dan *sulphur hexafluoride* (SF₆), dan *methane* (CH₄). Persentase emisi gas TPA (Landfill Gas) khususnya emisi gas metana (CH₄) mencapai 50-60% dari total keseluruhan gas yang ada di TPA (Atabi et al., 2014).

Gas metana (CH₄) merupakan gas rumah kaca (GHG) yang cukup berbahaya, karena gas metana cukup reaktif ketika berada di atmosfer bumi. Oksidasi gas metana dapat memicu terjadinya pembentukan ozon di troposfer, pembentukan karbondioksida dan uap air di stratosfer. Akibat hal ini emisi metana dapat menimbulkan beberapa risiko lingkungan baik secara langsung maupun tidak langsung (Shindell et al., 2017). Gas metana (CH₄) merupakan komponen gas TPA (Landfill Gas) yang secara signifikan dan aktif memberikan kontribusi pada efek gas rumah kaca atau efek GreenHouse Gas (GHG) yang terjadi pada saat ini. Menghitung jumlah emisi gas metana (CH₄) 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 (CH₄) diantara yaitu eksperimen lapangan, penilaian lokasi TPA dan pemodelan matematika (Fallahizadeh et al., 2019).

Pada penelitian ini menggunakan pemodelan matematika dalam bentuk software, yaitu LandGEM (*Landfill Gas Emissions Model*). Software LandGEM merupakan sebuah aplikasi perangkat lunak yang memiliki basis Microsoft excel yang telah dikembangkan oleh US EPA (*United States Environmental Protection Agency*) 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 (Alexander et al., 2005). Studi yang dilakukan oleh (Atabi et al., 2014) di TPA Yasuj Iran, memperoleh hasil estimasi gas metana menggunakan software LandGEM, paling tinggi berada pada tahun 2010-2012 sebesar 1.928×10^3 (Mg/year). Kemudian studi yang dilakukan oleh (SARI, n.d.) di TPA Tamangapa, memperoleh hasil estimasi gas metana menggunakan metode IPCC (2006) sebesar 2,24 Gg/year

pada tahun 2016 dan diprediksi pada tahun 2026 sebesar 4,968 Gg/year.

Studi yang dilakukan oleh Akbar (2016) menyebutkan terdapat hubungan antara jumlah emisi gas metana (CH₄) terhadap keluhan gangguan kesehatan berupa gangguan pernapasan yang dialami oleh masyarakat disekitar TPA. Sehingga dengan menghitung besaran emisi gas di TPA, agar dapat digunakan untuk mengetahui tingkat besaran risiko lingkungan yang diakibatkan oleh emisi gas TPA utamanya gas metana (CH₄). Dampak risiko dari emisi gas metana pada TPA terutama dampak risiko kesehatan pada akhirnya akan menimbulkan risiko beban ekonomi (*economic burden*) yang harus ditanggung oleh masyarakat (Ilyas & Siregar, 2019). Paparan bahaya lingkungan yang menyebabkan risiko kesehatan manusia, dapat dilakukan penilaian dan penaksiran risiko menggunakan analisis risiko (Lubis, 2018). Menurut (Louvar & Louvar, 1998) dan Koluru et. Al. (1996), langkah-langkah dalam analisis risiko kesehatan dapat digambarkan dalam 4 (empat) langkah utama yaitu : 1) Identifikasi Bahaya (*Hazard Identification*), 2) Analisis Paparan (*Exposure Assessment*), 3) Analisis Effect (*Effect Assessment*), 4) Karakteristik Risiko (*Risk Characterization*).

Seiring berjalannya waktu TPA Tamangapa akan terus terisi oleh sampah yang dihasilkan oleh masyarakat Kota Makassar. Oleh karena itu, perlu dilakukan studi lebih lanjut mengenai analisa resiko lingkungan TPA Tamangapa yang berupa perhitungan potensi emisi gas metana TPA Tamangapa yang terbaru dan melakukan perhitungan besaran risiko beban ekonomi yang ditimbulkan.

Rumusan Masalah

- Berapa potensi emisi gas metana yang dihasilkan oleh TPA Tamangapa?
- Berapa besaran risiko beban ekonomi yang ditimbulkan akibat gangguan pernapasan masyarakat yang disebabkan oleh paparan emisi gas metana (CH₄) TPA Tamangapa?

Tujuan Penelitian

- Menghitung besaran potensi emisi gas CH₄ di TPA Tamangapa menggunakan software LandGEM v.3.02.
- Menghitung besaran risiko beban ekonomi yang ditimbulkan akibat gangguan pernapasan masyarakat yang disebabkan oleh paparan emisi gas metana (CH₄) TPA Tamangapa.

II. METODE PENELITIAN

A. Area Studi Penelitian

Penelitian ini merupakan penelitian observational analitik dengan rancangan cross sectional yang menggunakan software LandGEM untuk menghitung estimasi gas metana yang dihasilkan oleh TPA Tamangapa. Kawasan Wilayah TPA Tamangapa secara administratif terletak di Kelurahan Tamangapa, Kecamatan Manggala, Kota Makassar, Provinsi Sulawesi

Selatan, Negara Indonesia. TPA Tamangapa berada sekitar ± 10 km dari pusat kota Makassar seperti yang ditunjukkan pada **Gambar 1**.



Sumber : Laporan DELH TPA Tamangapa, 2020.

Gambar 1. Peta Lokasi TPA Tamangapa

B. Deskripsi Pemodelan Software LandGEM

Pemodelan pada software Landfill Gas Emission Modelling atau disingkat LandGEM merupakan pemodelan yang menggunakan rumus pemodelan persamaan laju dekomposisi orde pertama yang ditunjukkan pada persamaan dibawah ini.

$$Q_{CH_4} = \sum_{i=1}^n \sum_{j=0.1}^1 k L_0 \left(\frac{M_i}{10} \right) e^{-kt_{ij}}$$

Dimana Q_{CH_4} adalah jumlah generasi gas metana dalam satu 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; k adalah laju produksi gas metana ($year^{-1}$); L_0 adalah kapasitas potensi produksi gas metana (m^3/Mg); M_i adalah berat sampah yang masuk dalam setiap tahunnya (Mg); t_{ij} adalah 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 data yang 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), (7) Konsentrasi NMOC (8) *Methane Content* dan (9) 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 mikroorganisme 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. Parameter ini (Alexander et al., 2005).

C. Kumpulan Data Bahan Pemodelan

TPA Tamangapa dibuka dan pertama kali beroperasi pada tahun 1993 serta merupakan satu-satunya lokasi pembuangan sampah padat perkotaan (*Municipal Solid Waste*). Awalnya, lahan TPA telah mengalokasikan sekitar 14,3 Ha pada tahun 1993 hingga 2014. Seiring berjalannya waktu terjadi peningkatan penduduk di Kota Makassar begitupula terjadi peningkatan volume sampah sehingga pada tahun 2015 dilakukan penambahan lahan pada beberapa zona hingga luas TPA Tamangapa menjadi $\pm 16,8$ Ha berdasarkan data UPTD TPA Tamangapa.

Data timbulan sampah yang tercatat pada UPTD TPA Tamangapa mulai tahun 2006 hingga tahun 2020. Namun, agar hasil pemodelan lebih akurat maka dilakukan proyeksi timbulan sampah menggunakan data timbulan sampah per kapita dengan metode proyeksi geometrik. Berikut adalah data jumlah penduduk berdasarkan data BPS Kota Makassar Tahun 2012, 2015, 2016 dan 2021 ditunjukkan pada **Tabel 1**.

Tabel 1. Data Jumlah Penduduk Kota Makassar

Year	Jumlah Penduduk	Year	Jumlah Penduduk	Year	Jumlah Penduduk
1994	1.005.882	2004	1.190.696	2014	1.429.242
1995	1.021.875	2005	1.214.510	2015	1.449.401
1996	1.038.123	2006	1.238.800	2016	1.469.011
1997	1.054.629	2007	1.263.576	2017	1.489.011
1998	1.071.398	2008	1.288.848	2018	1.508.154
1999	1.088.433	2009	1.314.625	2019	1.526.677
2000	1.100.019	2010	1.339.374	2020	1.423.877
2001	1.122.019	2011	1.352.136	2021	1.427.619
2002	1.144.460	2012	1.369.606		
2003	1.167.349	2013	1.408.072		

Sumber : BPS Kota Makassar Tahun 2022

Setelah melakukan perhitungan proyeksi data timbulan sampah, diperoleh data timbulan sampah TPA Tamangapa dari tahun 1994 hingga 2021, yang ditunjukkan pada **Table 2**.

Tabel 2. Data Timbulan Sampah TPA Tamangapa.

Year	Waste Accepted Mg/year	Year	Waste Accepted Mg/year	Year	Waste Accepted Mg/year
1994	124.813,50	2004	147.745,92	2014	247.182,73
1995	126.798,03	2005	150.700,83	2015	246.271,23
1996	128.814,12	2006	131.421,35	2016	237.851,88
1997	130.862,27	2007	168.204,29	2017	290.222,00
1998	132.942,98	2008	145.329,73	2018	284.070,77
1999	135.056,77	2009	162.057,29	2019	254.253,49
2000	136.494,39	2010	194.451,56	2020	255.565,02
2001	139.224,28	2011	193.405,56	2021	256.236,65
2002	142.008,76	2012	203.419,00		
2003	144.848,94	2013	246.970,84		

Sumber : Data Timbulan Sampah UPTD Tamangapa Kota Makassar, 2022

Adapun karakteristik komposisi sampah yang terdapat di TPA Tamangapa, berdasarkan data pada SIPSN (Sistem Informasi Pengelolaan Sampah Nasional) Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia pada tahun 2020, dapat dilihat pada **Table 3**.

Tabel 3. Karakteristik Komposisi Sampah di TPA Tamangapa Tahun 2020

Jenis Sampah	Persentase Berat Rata-rata
Organik	54,70%
Kayu	11,30%
Kertas	1,15%
Plastik	12,27%
Logam	1,07%
Kain	1,30%
Karet	0,41%
Kaca	1,20%
Lainnya	16,60%

Sumber : (SIPSN, 2021)

Berdasarkan karakteristik komposisi sampah pada tabel 2, dapat diprediksi kadar air pada sampah di TPA, agar dapat mengetahui nilai k , yaitu *Methane Generation Rate*, dan *Methane Content*. Namun, data ini masih belum terlalu akurat dan belum dapat menentukan nilai k sepenuhnya, sehingga pada studi ini akan menggunakan nilai default yang telah ditetapkan oleh CAA (*Clean Air Act*). Sama halnya nilai k , untuk data lainnya seperti nilai L_0 dan NMOC juga memerlukan data lebih lanjut dan studi lebih lanjut agar dapat memperoleh nilai yang maksimal, sehingga pada studi ini menggunakan nilai

default CAA yang telah disediakan oleh software (Fallahizadeh et al., 2019). **Tabel 4**, menunjukkan nilai *default* beberapa parameter untuk dimasukkan kedalam software LandGEM.

Tabel 4. Parameter Pemodelan untuk Menjalankan Aplikasi LandGEM

Parameter	Reference	Unit	Symbol	Rate
Methane Production	CAA	Year ⁻¹	K	0,05
Potential Methane Production Capacity	CAA	M ³ /Mg	L ₀	170
NMOC concentration	CAA	Ppmv as hexane	-	4000
Methane Content	CAA	By volume	-	50

Sumber : Fallahizadeh et al. (2019)

Sementara untuk tahun rencana penutupan TPA, pada studi sebelumnya yang dilakukan oleh (Nurdiansyah et al., 2016) menyebutkan bahwa sampah di TPA Tamangapa pada tahun 2020 sudah penuh dan harus segera ditutup. Namun kenyataan saat ini TPA Tamangapa masih beroperasi, sehingga pada studi ini dilakukan estimasi penutupan pada 5 tahun kedepan yakni tahun 2027. Estimasi ini berdasarkan pada studi sebelumnya menggunakan data tahun 2014 dan hasil estimasi penutupan pada tahun 2020 yakni berkisar 6 tahun. Sehingga pada studi ini menetapkan hal tersebut sebagai nilai jagaan prediksi potensi risiko. Selain itu periode pemerintahan juga berselang 5 tahun sehingga pada penganggaran pemerintah baru selanjutnya dapat mempertimbangkan terhadap anggaran untuk pengelolaan sampah perkotaan.

D. Metode Analisa Risiko

Metode analisa risiko lingkungan yang dilakukan pada studi ini menggunakan pendekatan analisa risiko kesehatan menurut (Louvar & Louvar, 1998) dan (Kolluru, 1996) yang memiliki empat (4) langkah utama. Adapun langkah-langkah analisa risiko tersebut adalah 1) Identifikasi Bahaya (*Hazard Identification*); 2) Analisis Paparan (*Exposure Assessment*); 3) Analisis Dosis Respon (*Dose Response Assessment*); 4) Karakteristik Risiko (*Risk Characterization*).

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Pemodelan Emisi Gas Metana TPA Tamangapa

Berdasarkan hasil pengumpulan data, pada **Tabel 5** menunjukkan data yang dibutuhkan untuk

mengoperasikan software LandGEM untuk TPA Tamangapa.

Tabel 5. Data Input TPA Tamangapa untuk LandGEM

Tamangapa Landfill	Value	Units Parameter
Landfill Characteristics		
Landfill Open Year	1993	-
Landfill Close Year Estimation	2027	-
Have Model Calculate Closure Year	No	-
Waste Design Capacity	n/a	-
Model Parameters		
Methane Generation Rate, k	0,050	year ⁻¹
Potential Methane Generation Capacity, L0	170	m ³ /Mg
NMOC Concentration	4.000	ppmv as hexane
Methane Content	50	% by volume

Sumber : Hasil Analisis, 2022

Setelah melakukan running software LandGEM, diperoleh hasil estimasi emisi gas metana dari tahun 1994 hingga tahun 2027 pada **Tabel 6**.

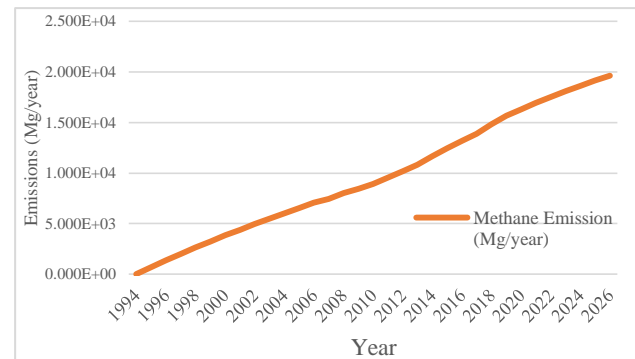
Tabel 6. Hasil Estimasi Pemodelan LandGEM TPA Tamangapa

Year	Methane Emission Mg/year	Year	Methane Emission Mg/year	Year	Methane Emission Mg/year
1994	0,000E+00	2005	6,568E+03	2016	1,322E+04
1995	6,921E+02	2006	7,083E+03	2017	1,389E+04
1996	1,361E+03	2007	7,466E+03	2018	1,482E+04
1997	2,009E+03	2008	8,035E+03	2019	1,568E+04
1998	2,637E+03	2009	8,449E+03	2020	1,632E+04
1999	3,246E+03	2010	8,935E+03	2021	1,694E+04
2000	3,836E+03	2011	9,578E+03	2022	1,754E+04
2001	4,406E+03	2012	1,018E+04	2023	1,810E+04
2002	4,963E+03	2013	1,081E+04	2024	1,864E+04
2003	5,509E+03	2014	1,166E+04	2025	1,915E+04
2004	6,043E+03	2015	1,246E+04	2026	1,964E+04

Sumber : Hasil Analisis, 2022

Berdasarkan hasil pada Tabel 6, jumlah estimasi gas metana (CH₄) yang dihasilkan pada tahun 1995 sebesar 6,921 x 10² Mg, lalu mengalami peningkatan hingga tahun 2026 sebesar 1,964 x 10⁴ Mg. Jika dipersentasekan dengan berat timbulan sampah yang masuk, jumlah gas metana (CH₄) yang terproduksi mengalami kenaikan dari 0,005% ke 0,076%. Jumlah timbulan sampah pada tahun 2022 hingga tahun 2026 akan secara otomatis diprediksi oleh

software LandGEM berdasarkan data yang diinput. Adapun trend emisi gas metana (CH₄) yang dihasilkan oleh sampah di TPA Tamangapa dapat dilihat pada **Gambar 2**.



Sumber : Hasil Pengolahan Data, 2022

Gambar 2. Jumlah emisi gas metana (CH₄) TPA Tamangapa dari tahun 1994 sampai 2026

Berdasarkan grafik pada gambar 2, dapat dilihat bahwa potensi emisi gas metana (CH₄) yang diproduksi oleh sampah di TPA Tamangapa melalui proses biodegradasi akan terus mengalami kenaikan, seiring bertambahnya sampah yang masuk ke TPA. Pada studi (Fallahzadeh et al., 2019) di TPA Yasuj Iran dengan jumlah sampah yang masuk sebesar 5.756 ton hingga 42.973 ton tiap tahunnya, menghasilkan emisi gas metana sebesar 2,902 x 10¹ Mg pada tahun 1992, dan mengalami peningkatan hingga 1,610 x 10³ Mg pada tahun 2010. Berdasarkan perbandingan ini TPA Tamangapa memiliki hasil emisi yang lebih besar dari pada TPA Yasuj, yang berarti TPA Tamangapa memiliki sumbangsih yang lebih besar terhadap pengaruh pemanasan global. Jika TPA Tamangapa sampai beberapa tahun kedepan tidak memiliki rencana penutupan atau rencana pengurangan jumlah sampah yang masuk ke TPA maka produksi emisi gas metana (CH₄) akan terus berlanjut begitupun risiko yang disebabkan juga ikut berlanjut.

B. Analisa Risiko

Berdasarkan hasil observasi dan analisa data-data sekunder yang telah dikumpulkan, maka dapat ditentukan beberapa hal berikut terkait tahap analisa resiko.

1. *Risk Identification or Hazard Identification.* Pada studi ini, yang menjadi objek penelitian adalah sampah di TPA Tamangapa yang juga merupakan sumber risiko lingkungan. Adapun bahaya risiko lingkungan yang dapat ditimbulkan adalah adanya pencemaran emisi gas (CH₄), yang apabila terpapar manusia dapat

menyebabkan gejala asfiksi dan menimbulkan gejala ISPA. Selain itu apabila kadar konsentrasi gas metana (CH_4) sebesar 5-15% di udara akan mudah mengalami reaksi kimia dan menyebabkan ledakan dan kebakaran pada sampah di TPA (Ratih, 2014). Gas metana (CH_4) merupakan gas yang cukup reaktif di atmosfer dan dapat dengan mudah menghasilkan lapisan ozon (O_3) melalui proses reaksi fotokimia (*photochemical*), yang mana ozon juga cukup berbahaya bagi kesehatan manusia, merusak ekosistem, menyebabkan gagal panen, dan mengurangi kemampuan biosfer dalam menyimpan karbon (Mar et al., 2022).

2. *Exposure Assessment*. Analisis pajanan pada studi ini berupa jumlah potensi emisi gas metana (CH_4) yang dihasilkan oleh sampah di TPA Tamangapa menggunakan software pemodelan LandGEM. Hasil potensi emisi gas metana (CH_4) dapat dilihat pada pembahasan sebelumnya yaitu pada Tabel 6 dan Gambar 1.
3. *Effect Assessment*. Analisis effect dilakukan untuk mengetahui hubungan antara tingkat paparan risiko dengan efek atau dampak yang diakibatkannya (Sianipar, 2009). Pada studi ini, efek atau dampak dari emisi gas metana (CH_4) yang menjadi fokus pembahasan adalah dampak gangguan kesehatan utamanya gangguan pernapasan yang dialami oleh masyarakat sekitar TPA Tamangapa. Berdasarkan data pada profil Puskesmas Tamangapa Tahun 2020, jumlah kasus penyakit ISPA pada tahun 2019 tercatat sebanyak 3308 kasus dan merupakan jumlah kasus penyakit terbanyak di Puskesmas Tamangapa. Banyaknya jumlah kasus penyakit tersebut tentunya menimbulkan risiko ekonomi atau beban ekonomi bagi penderitanya, yaitu berupa biaya kesehatan atau biaya medis. Berdasarkan studi (Ilyas, 2019), biaya total yang harus dikeluarkan pasien untuk melakukan rawat jalan adalah sebesar Rp. 290.000, dengan rincian biaya rata-rata administrasi sebesar Rp. 40.000, biaya rata-rata konsultasi sebesar Rp. 50.000, biaya rata-rata obat sebesar Rp. 100.000 dan biaya rata-rata laboratorium sebesar Rp. 100.000.
4. *Risk Characterization*. Karakterisasi risiko dilakukan untuk mengetahui karakteristik suatu risiko dengan cara menggabungkan besar kemungkinan risiko yang dihasilkan dan dampak risiko yang diakibatkan menjadi satu ukuran (Alijoyo et al., 2020). Karakterisasi risiko juga bertujuan sebagai dasar pemberitahuan untuk pengambilan keputusan untuk melakukan mitigasi terhadap risiko tersebut (Sianipar et al., 2009). Adapun karakterisasi risiko pada studi ini

adalah menggabungkan antara jumlah besar potensi emisi gas metana (CH_4) yang dihasilkan oleh proses degradasi sampah di TPA Tamangapa dengan jumlah beban risiko ekonomi berupa biaya medis yang harus ditanggung bagi masyarakat penderita atau pernah menderita ISPA. Berdasarkan data biaya medis yang disebutkan sebelumnya, jika biaya tersebut dikalikan dengan total jumlah kasus penyakit ISPA tahun 2019 di Puskesmas Tamangapa maka diperoleh total biaya yang dikeluarkan oleh masyarakat sekitar TPA Tamangapa sebesar Rp. 959.320.000. Kemudian, apabila dilakukan penggabungan antara biaya dan jumlah emisi dengan cara membaginya maka diperoleh nilai besar biaya medis per jumlah emisi gas metana (CH_4) tahun 2019 sebesar Rp. 61.199,299/Mg emisi CH_4 .

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Jumlah emisi gas metana (CH_4) yang dihasilkan dari proses degradasi sampah di TPA Tamangapa menggunakan software pemodelan LandGEM mulai tahun 1995 sebesar $6,921 \times 10^2$ Mg/year, lalu mengalami peningkatan hingga tahun 2026 sebesar $1,964 \times 10^4$ Mg/year. Peningkatan emisi ini akan terus berlanjut apabila tidak ada upaya pengelolaan berupa reduksi sampah yang masuk ke TPA Tamangapa. Hasil analisa risiko lingkungan dari emisi gas metana (CH_4) terhadap gangguan kesehatan berupa gangguan pernapasan adalah diperoleh total biaya risiko kerugian ekonomi atau beban ekonomi dalam bentuk biaya medis yang harus ditanggung oleh masyarakat sekitar TPA Tamangapa sebesar Rp. 959.320.000 pada tahun 2019 dan diperoleh hasil jumlah biaya risiko per emisinya sebesar Rp. 61.199,299/Mg emisi CH_4 .

REFERENSI

- Alexander, A., Burklin, C., & Singleton, A. (2005). Landfill gas emissions model. United States Environmental Protection Agency, Version 3.02 user's guide. *US Environ. Prot. Agency Off. Res. Dev.*, No. May, 48.
- Alijoyo, A., Wijaya, B., & Jacob, I. (2020). 31 Teknik Penilaian Risiko Berbasis ISO 31010. *Bandung: CRMS Indonesia*.
- Atabi, F., Ehyaei, M. A., & Ahmadi, M. H. (2014). Calculation of CH_4 and CO_2 emission rate in Kahrizak landfill site with LandGEM mathematical model. *The 4th World Sustainability Forum*, 18.
- Fallahizadeh, S., Rahmatinia, M., Mohammadi, Z., Vaezzadeh, M., Tajamiri, A., & Soleimani, H. (2019). Estimation of methane gas by LandGEM model from Yasuj municipal solid waste landfill, Iran. *MethodsX*, 6, 391–398.
- Ilyas, M., & Siregar, M. I. (2019). Biaya polusi udara yang timbul akibat bertambahnya volume kendaraan di Kota Banda Aceh. *Jurnal Ilmiah Mahasiswa Ekonomi Pembangunan*, 4(4), 441–452.

- Kolluru, R. (1996). Risk Assessment and Management Handbook, for Environmental. *Health and Safety Professionals*, 16.
- Lando, A. T., Rahim, I. R., Sari, K., Djamaluddin, I., Arifin, A. N., & Sari, A. M. (2021). Estimation of methane emissions from municipal solid waste landfill in makassar city based on ipcc waste model. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 841(1), 12002.
- Louvar, J. F., & Louvar, B. D. (1998). Health and environmental risk analysis: fundamentals with applications. (*No Title*).
- Lubis, N. (2018). *Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan Paparan Gas Amonia (NH3) Terhadap Gangguan Infeksi Saluran Pernafasan Akut (ISPA) Disekitar Tempat Pembuangan Akhir (TPA) Terjun Kecamatan Medan Marelan Kota Medan Tahun 2018*. Universitas Sumatera Utara.
- Mar, K. A., Unger, C., Walderdorff, L., & Butler, T. (2022). Beyond CO2 equivalence: The impacts of methane on climate, ecosystems, and health. *Environmental Science & Policy*, 134, 127–136.
- Sari, A. M. (n.d.). *Estimasi Emisi Metana (Ch4) Dari Tpa Tamangapa*.
- Sianipar, R. H. (2009). *Analisis Risiko Paparan Hidrogen Sulfida pada Masyarakat Sekitar TPA Sampah Terjun Kecamatan Medan Marelan Tahun 2009*. Universitas Sumatera Utara.