



## **Perkiraan Potensi Gas Metana di TPA Tegalasri Wlingi dengan IPCC Waste Model dengan Metode Tier-1 First Order Decay**

*Estimation of Methane Gas Potential at Tegalasri Wlingi Landfill by Using IPCC Waste Model with Tier-1 First Order Decay Method*

Abdur Rohman<sup>1</sup>

<sup>a</sup> Program Studi S1 Teknik Lingkungan, Jurusan Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik, Universitas Jember, Jl. Kalimantan 37 Jember

### **ABSTRAK**

Gas metana yang dihasilkan di TPA (Tempat Pemrosesan Akhir) sangat perlu dikendalikan karena memiliki potensi pemanasan global jauh lebih besar daripada CO<sub>2</sub> dan dapat menyebabkan kebakaran atau ledakan di TPA. Di sisi lain, gas metana memiliki potensi energi sebagai bahan bakar gas. Studi ini bertujuan untuk menunjukkan langkah-langkah untuk memperkirakan besarnya potensi gas metana di suatu TPA. Metode yang digunakan adalah First Order Decay yang diaplikasikan pada *IPCC Waste Model*. Kuantitas sampah, komposisi sampah, dan besaran-besaran penting lainnya pada studi ini diperkirakan dari analisis data-data sekunder yang kredibel. Untuk itu, digunakan pendekatan Tier-1 pada *IPCC Waste Model* yaitu memadukan nilai-nilai besaran dari data sekunder dengan nilai-nilai *default* yang paling sesuai dengan kondisi geografis TPA yang menjadi sasaran. TPA Tegalasri di Kabupaten Blitar dipilih sebagai sasaran studi ini karena kedekatan karakteristik sampahnya dengan karakteristik sampah yang menjadi basis untuk Indonesia pada *IPCC Waste Model*. Hasil studi ini menunjukkan bahwa pada tahun 2019 potensi produksi gas metana di TPA Tegalasri diperkirakan sebesar 941.5 ton. Produksi gas metana itu diperkirakan terus meningkat dan mencapai puncaknya sebesar 1082.33 ton pada tahun 2032, yaitu setahun setelah jadwal ditutupnya TPA. Setelah itu, produksinya diperkirakan turun setelah TPA ditutup tapi terus berproduksi hingga lebih dari 20 tahun setelah penutupan TPA.

*Kata kunci: metana, TPA, IPCC Waste Model*

### **ABSTRACT**

It is highly necessary to control the methane gas generated at landfills because the methane gas has stronger global warming potential than CO<sub>2</sub> does. In addition, the methane gas can cause explosion or fire. On the other hand, the methane is useful for biogas. The objective of this study is to demonstrate the way to estimate the methane generation potential at a landfill. The *First Order Decay* method applied by IPCC Waste Model is used in this study. The values of waste weights, waste compositions, and other vital entities are estimated from secondary data published by credible sources. The Tier-1 approach on the IPCC Waste Model, in which reliable entities data are combined with the default values in the model, is used in this study. Tegalasri landfill, located in Blitar Regency, is selected as the study area. The modeling estimates show that Tegalasri landfill produced 941.5 tons of methane gas in 2019. It is estimated that the peak generation of methane of 1082.33 tons will occur in the year of 2032. The landfill will continue generating CH<sub>4</sub> with lesser amount of gas even after its permanent closure in 2031.

*Keywords: methane, landfill, IPCC Waste Model*

<sup>1</sup> Email: [abdur@unej.ac.id](mailto:abdur@unej.ac.id)

## PENDAHULUAN

Gerakan pengelolaan sampah di tanah air meningkat tajam setelah terjadinya tragedi longsornya timbunan sampah di Tempat Pemrosesan Akhir (TPA) Leuwigajah, Jawa Barat, pada tanggal 21 Februari 2005 yang menyebabkan tewasnya lebih dari 140 orang (Rahayu, 2012). Longsor di TPA Leuwigajah itu menunjukkan tingginya risiko bila sampah di TPA tidak dikelola dengan tepat. Selain berpotensi longsor, timbunan sampah di TPA juga menghasilkan emisi metana ( $\text{CH}_4$ ) dan karbon dioksida ( $\text{CO}_2$ ) (USEPA, 2019). Kedua gas ini merupakan gas rumah kaca yang ketika di atmosfer menyerap radiasi gelombang inframerah yang dipancarkan Bumi sehingga menyebabkan peningkatan suhu permukaan bumi (Davis & Cornwell, 2013; Stips et al., 2016).

Gas metana yang dihasilkan di TPA sangat perlu mendapatkan perhatian khusus karena  $\text{CH}_4$  memiliki potensi pemanasan global 84 kali lebih besar daripada  $\text{CO}_2$  dalam kurun 20 tahunan (IPCC, 2014). Di samping itu, gas ini mudah terbakar dan dapat meledak pada level konsentrasi 5%-15% volume udara dan bereaksi dengan oksigen serta ada percikan (Speight, 2018). Kebakaran di TPA sering terjadi akibat akumulasi gas metana yang tidak terkelola dengan baik, seperti yang baru-baru ini terjadi di TPA Antang di Makassar (Taufiqqurahman, 2019). Di sisi lain, karena sifatnya yang mudah terbakar ini pula, gas metana mengandung potensi manfaat yang besar pula dapat dimanfaatkan sebagai sumber gas bio yang merupakan energi terbarukan. Selain dapat langsung dimanfaatkan untuk bahan bakar kompor gas, metana dari TPA dapat juga dimanfaatkan untuk penguapan lindi dari TPA dan untuk pembangkit listrik (USEPA, 2020).

Beberapa studi telah mengukur potensi gas metana di beberapa TPA lain di Indonesia. Herlambang *et al* (2010) menguji kadar gas metana dan beberapa gas lainnya di TPA Suwung, Denpasar dengan eksperimen menggunakan sel sampah dan menemukan bahwa kadar gas metana di TPA itu 15%-52%. Wahyono (2015) mengukur kadar gas metana dan beberapa gas lainnya di TPA Kota Probolinggo serta memperkirakan produksi gas metana dengan metode *First Order Decay* yang diaplikasikan dalam dua perangkat lunak, yaitu *IPCC Spreadsheet for Estimating Methane Emission from Solid Waste Disposal Site* dan *Landfill Gas Emission Model* (LandGEM). Studi ini menemukan bahwa potensi produksi gas metana di TPA Kota Probolinggo tahun 2013 mencapai 4,6-4,8  $\text{m}^3$ /hari, potensi produksinya hingga tahun 2038 dapat mencapai maksimal 24,19 ton atau 36.259  $\text{m}^3$ , dan kadar rata-rata gas metana 46,9%. Hariyanto *et al* (2019) mengukur kadar gas metana di TPA Klotok Kediri menggunakan sensor-sensor gas di tiga titik dan mendapati bahwa kadar metana tertinggi ( $63.21 \pm 2.61$ ) % dan terendah ( $1.8 \pm 0.71$ )%.

Penelitian ini bertujuan untuk menunjukkan langkah-langkah untuk memperkirakan besarnya potensi produksi gas metana pada suatu TPA dengan menggunakan *IPCC Waste Model* metode *First Order Decay* yang dipublikasikan oleh IPCC (*Intergovernmental Committee on Climate Change*) pada tahun 2006 (Pipatti et al, 2006) dan diperbaiki sebagian isinya pada tahun 2019 (Towprayoon et al, 2019a; Towprayoon et al, 2019b). Model ini dipilih karena sudah diuji validitasnya (Börjesson et al, 2009), populer di kalangan peneliti gas metana di TPA, dan fleksibel karena memberikan opsi-opsi nilai parameter yang dapat dipilih berdasarkan kondisi geografis TPA di berbagai negara. Lokasi yang dijadikan contoh adalah TPA Tegalasri yang terletak di Kecamatan Wlingi, Kabupaten Blitar. TPA ini mulai beroperasi tahun 1994 dan direncanakan akan berhenti beroperasi pada tahun 2031 (KLHK, 2018). TPA ini dipilih karena kedekatan karakteristik sampahnya dengan karakteristik sampah yang menjadi basis untuk Indonesia pada IPCC

Waste Model. Karena tidak didukung oleh data-data hasil pengukuran eksperimen, pada studi ini digunakan nilai-nilai *default* yang tersedia pada model untuk kondisi yang paling sesuai dengan kondisi geografis TPA. Pendekatan dengan nilai default inilah yang disebut Tier-1.

Selanjutnya, akan dijelaskan dulu istilah-istilah penting yang sering digunakan dalam model ini. Setelah itu, akan dijelaskan konsep yang mendasari IPCC Waste Model ini. Selanjutnya, dijelaskan data-data yang digunakan untuk pemodelan. Hasil pemodelan dan diskusinya disajikan kemudian, lalu ditutup dengan kesimpulan.

## GLOSARIUM

DOC : *Degradable Organic Carbon*, yaitu fraksi (atau persentase) massa karbon organik dalam sampah di TPA yang mudah terurai secara biokimiawi, dinyatakan dalam massa karbon (Gg atau ribu ton) / massa sampah (Gg). Nilai DOC bergantung pada jenis sampah. Misalnya sampah basah kertas dengan nilai DOC 0,4 maka 40% massa sampah basah kertas itu dapat terurai.

DOC<sub>f</sub>: fraksi DOC yang dapat mengalami dekomposisi dalam kondisi anaerobik saja.

DDOC<sub>m</sub>: *Mass of Decomposable Degradable Organic Carbon*, yaitu massa karbon yang dapat terurai yang dapat mengalami dekomposisi pada kondisi anaerobik sehingga menjadi gas metana dan gas karbondioksida. Besarnya bervariasi bergantung kepada jenis sampah. Satuannya Gg atau ribu ton.

MCF : *Methane Correction Factor*, yaitu angka yang merupakan faktor koreksi untuk memperhitungkan bagian sampah yang mengalami dekomposisi dalam kondisi aerobik sebelum berada pada kondisi anaerobik. Nilainya bervariasi bergantung pada kondisi pengelolaan TPA.

## KONSEP FIRST ORDER DECAY TIER-1

Jenis sampah yang menjadi penyusun komposisi sampah di TPA dalam IPCC 2006 Waste Model dibedakan atas 11 jenis, yaitu : (1) makanan (2) taman (daun, ranting, dsb) (3) kertas (4) kayu (5) kain (6) pampers (7) karet dan kulit (8) plastik (9) logam (10) kaca, dan (11) sampah lain misalnya sampah elektronika (Towprayoon et al, 2019b).

Langkah awal untuk menentukan potensi gas metana adalah mengukur massa sampah basah dari tiap jenis, lalu mengalikannya dengan DOC dari tabel yang sudah disediakan IPCC untuk tiap jenis sehingga didapat DOC rata-rata pada sampah seluruhnya sebagaimana pada persamaan (1).

$$DOC = \sum_i DOC_i \cdot W_i \quad (1)$$

dengan

DOC<sub>i</sub> : fraksi dari DOC pada sampah jenis i, dengan i = makanan, taman, kertas, dll.

W<sub>i</sub> : fraksi massa sampah basah jenis i

Selanjutnya, dihitung nilai bahan organik karbon yang dapat terurai dan dapat terdekomposisi yaitu  $DDOC_m$  dengan persamaan (2) dengan menggunakan  $DOC_f$  dan  $MCF$  dari tabel yang sudah disediakan IPCC.

$$DDOC_m = W \cdot DOC \cdot DOC_f \cdot MCF \quad (2)$$

Karena terdekomposisi,  $DDOC_m$  terus berkurang. IPCC Waste Model menggunakan konsep *first order decay* yang menyatakan bahwa laju berkurangnya  $DDOC_m$  sebanding dengan sisa  $DDOC_m$ . Konsep ini dinyatakan dalam persamaan diferensial ordo pertama seperti pada persamaan (3)

$$\frac{d(DDOC_m)}{dt} = -k \cdot DDOC_m \quad (3)$$

dengan  $k$  merupakan konstanta laju peluruhan dalam satuan 1/tahun.

Bila persamaan (3) diintegrasikan, didapat persamaan (4) sebagai solusinya.

$$DDOC_m(t) = DDOC_m(0) \cdot e^{-kt} \quad (4)$$

$DDOC_m(t)$  adalah  $DDOC_m$  setelah  $t$  tahun,  $DDOC_m(0)$  adalah  $DDOC_m$  pada awal tahun, dan  $t$  adalah waktu dalam satuan tahun.

Karena TPA beroperasi selama beberapa tahun, dan sampah baru terus masuk ke TPA sebelum TPA ditutup, ada  $DDOC_m$  yang masuk ke TPA dan ada  $DDOC_m$  yang terakumulasi di dalam TPA karena belum terurai. Sebagian dari  $DDOC_m$  yang terakumulasi itu kemudian benar-benar terdekomposisi sehingga membentuk  $CH_4$  dan  $CO_2$ . Hubungan antara ketiga  $DDOC_m$  dinyatakan dalam persamaan (5) dan (6).

$$DDOC_{ma}(t) = DDOC_{md}(t) + DDOC_{ma}(t-1) \cdot e^{-k} \quad (5)$$

$$DDOC_{m, \text{decomp}}(t) = DDOC_{ma}(t-1) - DDOC_{ma}(t-1) \cdot e^{-k} \quad (6)$$

dengan

- $DDOC_{ma}(t)$  :  $DDOC_m$  yang terakumulasi di TPA pada akhir tahun  $t$  (dalam Gg)
- $DDOC_{md}(t)$  :  $DDOC_m$  yang masuk ke TPA pada tahun  $t$  (dalam Gg)
- $DDOC_{ma}(t-1)$  :  $DDOC_m$  yang terakumulasi di TPA pada akhir tahun  $t-1$  (dalam Gg)
- $DDOC_{m, \text{decomp}}(t)$  :  $DDOC_m$  yang benar-benar terdekomposisi pada tahun  $t$  (dalam Gg)

Dari  $DDOC_m$  yang benar-benar terdekomposisi inilah dapat dihitung massa gas metana yang dihasilkan dari bahan organik yang terdekomposisi di TPA secara anaerob seperti pada persamaan (7)

$$M_{CH_4}(t) = DDOC_{m, \text{decomp}}(t) \cdot F \cdot 16/12 \quad (7)$$

dengan

- $M_{CH_4}(t)$  : massa gas  $CH_4$  yang diproduksi di TPA pada tahun  $t$  (dalam Gg)
- $F$  : rasio antara volume gas  $CH_4$  dengan total gas yang diproduksi TPA
- $16/12$  : rasio antara massa molekul  $CH_4$  dengan massa molekul karbon

## **DATA – DATA UNTUK PEMODELAN**

Untuk memperkirakan timbulan sampah yang masuk ke TPA Tegalasri, diperkirakan dulu jumlah penduduk dari tahun ke tahun. Pada studi ini dipilih kurun waktu tahun 1994 yaitu

saat TPA baru beroperasi hingga 2050 yaitu sekitar 20 tahun setelah rencana TPA ditutup. Perkiraan jumlah penduduk lantas digunakan untuk memperkirakan sumbangan tiap orang terhadap timbulan sampah yang masuk ke TPA. Data jumlah penduduk yang didapat dari BPS Kabupaten Blitar tersaji dalam Tabel 1.

**Tabel 1.** Data Jumlah Penduduk Kabupaten Blitar

Tahun	Jumlah Penduduk Kabupaten Blitar (jiwa)	Jenis Data
1990	1.049.615	Data Sensus Penduduk
2000	1.064.643	Data Sensus Penduduk
2010	1.116.639	Data Sensus Penduduk
2014	1.140.793	Data Proyeksi
2015	1.145.396	Data Proyeksi
2016	1.149.710	Data Proyeksi
2017	1.153.803	Data Proyeksi
2018	1.157.500	Data Proyeksi
2019	1.160.677	Data Proyeksi

Sumber: Badan Pusat Statistik Kabupaten Blitar (2020)

Dari data jumlah penduduk di beberapa tahun itu lalu dibuat interpolasi dan ekstrapolasi jumlah penduduk pada tahun-tahun yang tidak ada datanya berdasarkan persamaan linear

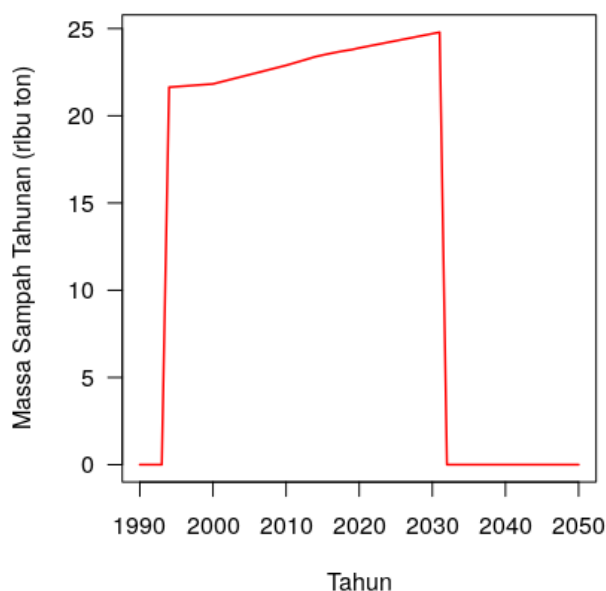
$$penduduk(tahun) = intercept + slope \cdot tahun$$

Dengan menggunakan *Google Sheets* didapat nilai intercept dan slope untuk empat kurun waktu sebagaimana disajikan pada Tabel 2.

**Tabel 2.** Intercept dan Slope untuk Interpolasi Jumlah Penduduk

Kurun Tahun	1990-2000	2000-2010	2010-2014	2014-2019
<i>Slope</i>	1502.8	5199.6	6038.5	3995.0
<i>Intercept</i>	1049615	1012647	995869	1045446

Data Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan menyebutkan bahwa pada 2018 TPA Tegalasri Wlingi memiliki jumlah sampah kelola sebesar 65,01 ton/hari (KLHK, 2018). Dengan membagi angka ini dengan jumlah penduduk hasil proyeksi BPS Kabupaten Blitar untuk tahun 2018 didapat angka rasio antara timbulan sampah yang masuk TPA dengan jumlah penduduk yaitu 56,16 gram/tahun/orang. Dapat dikatakan bahwa rata-rata tiap penduduk Kabupaten Blitar berkontribusi sampah ke TPA Tegalasri Wlingi sebesar 56,16 gram tiap tahun. Diasumsikan bahwa rasio ini konstan dari tahun ke tahun sehingga digunakan untuk proyeksi timbulan sampah yang masuk ke TPA dari tahun 1994 hingga 2050. seperti pada Gambar 1.



**Gambar 1.** Perkiraan timbunan sampah yang masuk ke TPA Tegalsri Wlingi pada tahun 1990-2050

Data komposisi sampah yang masuk ke TPA Tegalsri Wlingi pada tahun 2018 diambil Sistem Informasi Pengelolaan Sampah Nasional Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan. Sebagaimana nampak pada Tabel 3, data komposisi sampah pada TPA Tegalsri ini memiliki komposisi yang mirip dengan komposisi sampah yang menjadi *default* pada IPCC Waste Model 2019 Refinement Table 2A.2 (Towprayoon, 2019b).

**Tabel 3.** Perbandingan antara Komposisi Sampah TPA Tegalsri dan Default pada IPCC Waste Model

Jenis Sampah	Komposisi Sampah Default untuk Indonesia (%)	Komposisi Sampah pada TPA Tegalsri Wlingi Tahun 2017-2018 (%)
Makanan	74,0	70,85
Taman dan kayu	0,0	1,00
Kertas	10,0	12,45
Kain	2,0	1,94
Karet dan kulit	0,0	0,52
Plastik	8,0	7,50
Logam	2,0	0,90
Kaca	2,0	0,92
Pampers	0,0	
Lain-lain (inert)	2,0	Lain-lain: 3,92
Total	100,0	100,0

Dengan didapatkannya perkiraan massa sampah per tahun dan komposisinya, dapat dihitung nilai DOC dan DDOCM dengan menggunakan persamaan(1) sampai (6). Nilai-nilai  $DOC_i$ ,  $DOC_f$  dan  $k$  untuk tiap kategori sampah diambil dari nilai-nilai default pada IPCC Waste Model sebagaimana dijelaskan pada Tabel 4.

**Tabel 4.** Nilai-nilai  $DOC_i$ ,  $DOC_f$  dan  $k$  untuk tiap kategori sampah

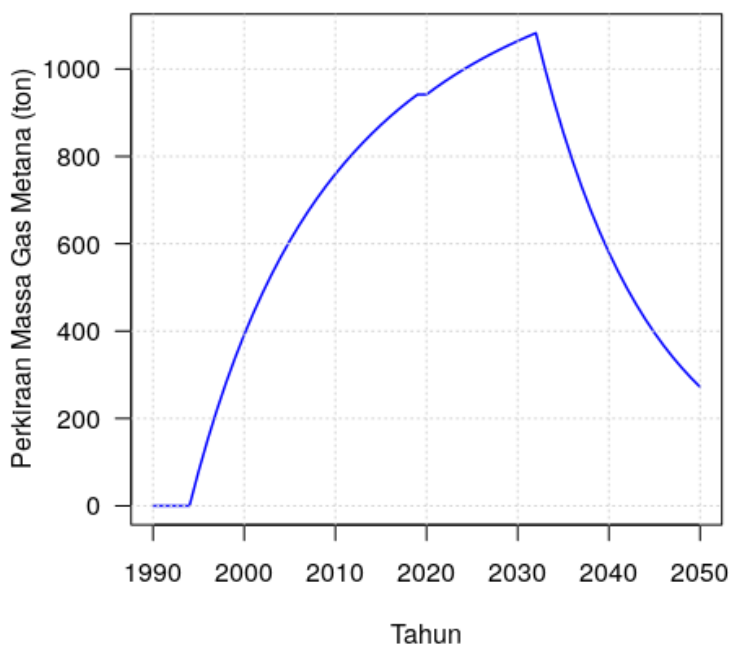
Jenis Sampah	Nilai $DOC_{Default}$	Nilai $DOC_{fDefault}$	Nilai $k_{Default}$
Makanan	0,15	0,7	0,085
Taman	0,20	0,7	0,065
Kayu	0,43	0,1	0,025
Kertas	0,40	0,5	0,045
Kain	0,24	0,5	0,045
Karet dan kulit	0,39	0,5	0,065
Pampers	0,24	0,5	0,025
Lain-lain ( <i>bulk</i> )	0,18	0,5	0,065

Keterangan:  $DOC_{Default}$  diambil dari Pipatti et al (2006) Table 2.4. Nilai  $DOC_f_{Default}$  dari Towprayoon (2019a) Table 3.0. Nilai  $k$  diambil dari Towprayoon (2019a) Table 3.3 dengan pilihan *Tropical Dry* karena suhu rata-rata tahunan Blitar  $>20^{\circ}C$  dan curah hujan rata-rata tahunan  $<1000$  mm (BPS Kab Blitar, 2020).

Karena informasi yang penulis dapatkan tentang TPA Tegalasri Wlingi tidak cukup untuk menentukan jenis TPA Tegalasri berdasarkan cara manajemennya, MCF diasumsikan bernilai 0.6 sebagaimana yang direkomendasikan dalam Pipatti et al (2006). Adapun fraksi gas metana, diasumsikan nilainya 0.5 mengikuti *default* pada model. Ini berarti bahwa diasumsikan bahwa kadar metana pada gas yang dihasilkan TPA sebesar 50% dan sisanya  $CO_2$  dan gas -gas lain. Asumsi ini cukup rasional bila dibandingkan dengan hasil pengukuran kadar metana yang dilakukan oleh Wahyono(2015) di TPA Kota Probolinggo yang nilainya 46,9%. Rincian perhitungan pada studi ini dapat diakses pada <https://s.id/ipcc-tegalasri>.

## HASIL PERKIRAAN MODEL DAN DISKUSI

Dari hasil perhitungan berdasarkan IPCC *Waste Model FOD Tier-1* ini didapatkan perkiraan yang terangkum dalam Gambar 2. Berdasarkan model ini, pada tahun 1994 saat TPA baru beroperasi, tidak ada gas metana yang dihasilkan karena sampah belum terdekomposisi. Baru pada tahun berikutnya mulai dihasilkan dan makin lama makin besar karena ada peningkatan akumulasi bahan organik tiap tahun. Puncak produksi gas metana diperkirakan akan dicapai pada tahun 2032 dengan produksi gas metana sebesar 1082.33 ton. Setelah itu, produksinya turun karena direncanakan bahwa TPA akan ditutup pada tahun 2031 sehingga akumulasi bahan organik yang dapat terdekomposisi di TPA semakin berkurang. Pada akhir tahun 2050, yaitu sekitar 20 tahun setelah TPA ditutup, diperkirakan TPA masih menghasilkan gas metana sebesar 272.20 ton.



**Gambar 2.** Perkiraan Produksi Gas Metana (ton) pada tahun 1994-2050

Apabila tidak digunakan sama sekali, gas metana yang diproduksi oleh TPA ini akan lepas ke atmosfer sehingga masuk dalam emisi gas rumah kaca. Akan tetapi, apabila ada sebagian dari gas metana yang digunakan kembali misalnya sebagai sumber energi, maka nilai gas metana yang diemisikan harus dikurangi bagian yang digunakan itu. Selain itu, apabila ada penutup TPA berupa tanaman dan sebagainya yang dapat membuat gas metana teroksidasi, maka nilai emisi ke atmosfer pun berkurang.

Untuk TPA Tegalsari Wlingi, penulis belum menemukan informasi yang konsisten mengenai ada atau tidaknya konversi gas metana dari TPA menjadi bahan bakar gas di TPA ini. Penulis juga belum menemukan informasi mengenai adanya penutup khusus pada lahan TPA. Karena itu, kedua faktor ini diasumsikan bernilai 0 sebagaimana nilai *default* pada IPCC Waste Model.

Pemodelan yang dilakukan dalam studi ini jelas memiliki banyak kelemahan. Kelemahan utama adalah tidak adanya data primer hasil pengukuran langsung di lokasi TPA terhadap besaran-besaran yang penting misalnya massa sampah dan komposisi sampah sehingga hasil perkiraan yang dihasilkan memiliki ketidakpastian yang tinggi. Juga tidak ada data kualitas gas metana sehingga tidak dapat diperkirakan jenis penggunaan yang optimal dari gas yang dihasilkan. Kelemahan lain adalah tidak adanya data pembandingan dari model yang lain misalnya LandGEM. Meskipun demikian, setidaknya studi ini menunjukkan adanya potensi bahan bakar gas yang cukup besar yang bisa dimanfaatkan dari TPA Tegalsari. Selain itu, studi ini menunjukkan bagaimana memanfaatkan data sekunder sekaligus IPCC Waste Model untuk melakukan pemetaan potensi gas metana di banyak TPA secara efisien. Bila ditemukan TPA yang potensinya besar, dapat dilanjutkan dengan pengukuran lapangan.



## KESIMPULAN

Penumpukan sampah di TPA memiliki potensi bahaya yang tinggi, salah satunya potensi terjadinya kebakaran atau ledakan akibat gas metana. Di sisi lain, ada potensi bahan bakar gas metana di dalamnya. Studi ini menggunakan IPCC Waste Model dengan metode First Order Decay Tier-1 untuk memperkirakan besarnya potensi gas metana yang dapat dihasilkan dari sampah yang terdekomposisi di TPA Tegalasri Wlingi Kabupaten Blitar. Hasil studi menunjukkan bahwa saat ini produksi gas metana di TPA Tegalasri terus meningkat dan diperkirakan akan mencapai puncaknya sebesar 1082.33 ton pada tahun 2032. Setelah itu, produksinya turun setelah ditutup tahun 2031 tapi produksi gas metana tetap melampaui 270 ton pada tahun 2050.

Studi ini memiliki ketidakpastian yang tinggi karena tidak didukung data primer hasil pengukuran. Meski demikian, studi ini menunjukkan bagaimana memanfaatkan data sekunder sekaligus IPCC Waste Model untuk melakukan pemetaan potensi gas metana di banyak TPA secara efisien. Apabila ditemukan TPA yang memiliki potensi gas metana yang besar, sangat disarankan untuk melakukan pengukuran timbulan sampah, komposisi sampah, dan kualitas gas metana secara langsung di TPA tersebut.

## DAFTAR PUSTAKA

- Badan Pusat Statistika Kabupaten Blitar (2020) *Hasil Sensus Penduduk 1961-2010*, Available at: <https://blitarkab.bps.go.id/statictable/2015/02/25/359/luas-wilayah-penduduk-dan-kepadatan-penduduk-hasil-sensus-penduduk-1961-2010.html> (Accessed: 4 June 2020).
- Börjesson, G., Samuelsson, J., Chanton, J., Adolfsson, R., Galle, B., & Svensson, B. H. (2009). A national landfill methane budget for Sweden based on field measurements, and an evaluation of IPCC models. *Tellus, Series B: Chemical and Physical Meteorology*, 61 B (2), 424–435. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0889.2008.00409.x>
- Davis, M. L., & Cornwell, D. A. (2013). *Introduction to Environmental Engineering* (5th ed.). McGraw-Hill.
- Hariyanto, S., Fatima, H. H. P., Citrasari, N., Sendari, S., & Rasyidi, M. N. (2019). The potential of methane gas production at Klotok Landfill Kediri City. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (Vol. 245, Issue 1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/245/1/012020>
- Herlambang, A., Sutanto, H., & Wibowo, K. (2010). Produksi Gas Metana Dari Pengolahan Sampah Perkotaan Dengan Sistem Sel. *Jurnal Teknologi Lingkungan*, 11(3), 389. <https://doi.org/10.29122/jtl.v11i3.1184>
- KLHK (Kementrian Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia) (2018) *Sistem Informasi Pengelolaan Sampah Nasional*, Available at: [http://sipsn.menlhk.go.id/?q=data-tabel1%2Ftpa-tpst&field\\_f\\_wilayah\\_tid=1488&field\\_kat\\_kota\\_tid=All&field\\_periode\\_id\\_tid=2168](http://sipsn.menlhk.go.id/?q=data-tabel1%2Ftpa-tpst&field_f_wilayah_tid=1488&field_kat_kota_tid=All&field_periode_id_tid=2168) (Accessed: 4 June 2020).
- Pipatti, R., Svardal, P., Alves, J. W. S., Gao, Q., Cabrera, C. L., Mareckova, K., Oonk, H., Scheehle, E., Sharma, C., Smith, A., Yamada, M., Coburn, J. B., Pingoud, K., Thorsen, G., & Wagner, and F. (2006). 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories: Vol 5 Chapter 3 Solid Waste Disposal. In *2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories* (Vol. 4, pp. 6.1-6.49). <https://doi.org/10.1111/j.1749-6632.2009.05320.x>

- Rahayu, M. I. F. (2012). Keadilan Ekologis dalam Gugatan Class Action Tempat Pembuangan Akhir Leuwigajah. *Jurnal Yudisial*, 5(1), 17–35. <https://jurnal.komisiyudisial.go.id/index.php/jy/article/download/162/139>
- Speight, J. G. (2018). *Natural Gas: A Basic Handbook*. Gulf Professional Publishing.
- Stips, A., MacIas, D., Coughlan, C., Garcia-Gorriz, E., & Liang, X. S. (2016). On the causal structure between CO<sub>2</sub> and global temperature. *Scientific Reports*, 6 (February), 1–9. <https://doi.org/10.1038/srep21691>
- Taufiqqurahman, Muhammad (2019) 'Pemkot soal Penyebab Kebakaran TPA di Makassar: Gas Metan ', *Detik.com*, 16 September, p. <https://news.detik.com/berita/d-4708112/pemkot-soal-penyebab-kebakaran-tpa-di-makassar-gas-metan>.
- Towprayoon, S., Ishigaki, T., Chiemchaisri, C., & Amr Osama Abdel-Aziz. (2019a). Chapter 3 Solid Waste Disposal. In 2019 Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories (5th ed., pp. 1–25). Intergovernmental Panel on Climate Change. <https://www.ipccnggip.iges.or.jp/public/2019rf/vol5.html>
- Towprayoon, S., Shmarin, S., Gao, Q., Aziz, A. O. A.-, Farkaš, J., Ma, Z., Wangayo, K. Kumar, S., Nuria Mariana Zanzottera, M. I., & Sharma, C. (2019b). Chapter 2 Waste Generation, Composition and Management Data. In 2019 Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories (pp. 2.1-2.38). [https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2019rf/pdf/5\\_Volume5/19R\\_V5\\_2\\_Ch02\\_Waste\\_Data.pdf](https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2019rf/pdf/5_Volume5/19R_V5_2_Ch02_Waste_Data.pdf)
- USEPA (U.S. Environmental Protection Agency). (2019). *Basic Information about Landfill Gas*. US Environmental Protection Agency (EPA). <https://www.epa.gov/lmop/basic-information-about-landfill-gas>
- Wahyono, S. (2015). Studi Potensi dan Kualitas Gas dari Tempat Pemrosesan Akhir Sampah Kota Probolinggo. *Jurnal Teknologi Lingkungan*, 16(1), 15–20. <http://ejurnal.bppt.go.id/index.php/JTL/article/view/1608/1399>