

KUANTIFIKASI EMISI METANA DARI TPA GALUGA CIBUNGBULANG BOGOR JAWA BARAT

QUANTIFICATION OF METHANE EMISSIONS FROM LANDFILL GALUGA CIBUNGBULANG BOGOR WEST JAVA

¹⁾Fajar Santiabudi, ²⁾Ana Turyanti, ³⁾Arief Sabdo Yuwono

¹⁾Mahasiswa Mayor Meteorologi Terapan, Dept. Geofisika dan Meteorologi, Fakultas MIPA-IPB, Bogor 16680, Telp. +628561637660

²⁾Staf pengajar Dept. Geofisika dan Meteorologi, Fakultas MIPA, IPB

³⁾Staf pengajar Dept. Teknik Sipil dan Lingkungan, Fak. Teknologi Pertanian, IPB

¹⁾Email:fajar_sb@yahoo.co.id

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk menduga emisi metana dari sebuah tempat pembuangan akhir sampah (TPA) di Galuga Cibungbulang, Bogor Jawa Barat, serta potensinya sebagai sumber energi alternatif. Kuantifikasi dilakukan dengan dua cara, yaitu pendugaan dengan perangkat lunak *LandGEM-v302* dan pengukuran lapang dengan *flux chamber*. Hasil dari *LandGEM-v302* diperoleh total potensi emisi gas TPA Galuga sebesar 45,02 Gg/tahun yang terdiri dari CH₄ sebesar 12,03 Gg/tahun, CO₂ sebesar 33 Gg/tahun, dan NMOC (*Non Methane Organic Compound*) sebesar 516,9 Mg/tahun, sedangkan emisi CH₄ aktual dengan *flux chamber* sebesar 368,9 Mg/tahun. Perbedaan karakteristik pada permukaan TPA, kondisi kelembaban, dan kadar air dalam sampah sangat mempengaruhi emisi gas yang dilepaskan ke atmosfer. Potensi pemanfaatan gas metana dari 3,1 juta ton sampah di TPA Galuga diperkirakan dapat menghasilkan energi listrik sebesar 2,5 MW.

Kata kunci: emisi metana, *flux chamber*, *Land GEM-v302*, TPA Galuga.

Abstract

The purpose of this study is to estimate methane emissions from a landfill in Galuga Cibungbulang, Bogor District, West Java, and its potential as an alternative energy resource. The quantification is done in two ways, namely prediction by *LandGEM-v302* software and field measurement by *flux chamber*. The results of *LandGEM-v302* are 45.02 Gg total potential landfill gas emissions per year which consist of CH₄ at 12.03 Gg/year, CO₂ by 33 Gg/year, and NMOC (*Non-Methane Organic Compound*) equal to 516.9 Mg/year, whereas the actual emission by the *flux chamber* is 368.9 Mg CH₄ emissions per year. The differences of landfill surface characteristics, humidity conditions, and moisture content in the landfill are greatly affect landfill gas emissions that released into the atmosphere. The potential utilization of methane from 3.1 million tonnes waste in landfill Galuga is estimated to generate 2.5 MW of electricity.

Keywords: Flux chamber, *LandGEM-v302*, landfill Galuga, methane emissions.

1. PENDAHULUAN

Tempat pembuangan akhir sampah (TPA) memberikan dampak dan kontribusi terhadap lingkungan maupun atmosfer. Gas-gas yang dilepaskan dari TPA dapat berupa gas rumah kaca (GRK) atau gas pencemar udara. Metana sebagai salah satu GRK yang dihasilkan dari dalam TPA merupakan penyumbang yang signifikan terhadap emisi CH₄ global, sekitar 10 sampai 70 Tg/tahun (Doorn dan Barlaz, 1995). Metana merupakan gas rumah kaca antropogenik kedua yang sangat penting setelah karbon dioksida. Konsentrasi metana di atmosfer telah mengalami peningkatan dari 715 ppbv pada zaman pra-industri menjadi 1.774 ppbv pada tahun 2005 (Boucher *et al*, 2009). Potensi pemanasan globalnya 21 kali lebih besar dibandingkan karbon dioksida dalam horizon waktu 100 tahun (Talyan *et al*, 2007).

Selain kontribusi terhadap peningkatan GRK di atmosfer, metana yang berasal dari TPA juga berpotensi menjadi sumber energi. Di kota Semarang, gas metana yang dihasilkan dari TPA Jatibarang dimanfaatkan sebagai bahan bakar penghasil listrik (Infokom, 2007). TPST Bantar Gebang Bekasi Jawa Barat dan TPA Suwung Bali juga telah memanfaatkan metana dari TPA menjadi bahan bakar untuk pembangkit listrik (ESDM, 2010).

Selain kontribusi terhadap peningkatan GRK di atmosfer, metana yang berasal dari TPA juga berpotensi menjadi sumber energi. Di kota Semarang, gas metana yang dihasilkan dari TPA Jatibarang dimanfaatkan sebagai bahan bakar penghasil listrik (Infokom, 2007). TPST Bantar Gebang Bekasi Jawa Barat dan TPA Suwung Bali juga telah memanfaatkan metana dari TPA menjadi

bahan bakar untuk pembangkit listrik (ESDM, 2010). Penelitian ini bertujuan untuk menduga emisi gas metana dari TPA Galuga Cibungbulang Bogor Jawa Barat, serta potensinya sebagai sumber energi alternatif.

2. METODA

2.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian dilakukan di TPA Galuga Kec. Cibungbulang Kab. Bogor – Jawa Barat. TPA ini berada pada jarak 18 km dari sebelah Barat kota Bogor dan secara geografis berada pada koordinat 6°33'58"LS dan 106°38'34"BT. Citra Satelit TPA Galuga dapat dilihat pada Gambar 1. Pengambilan sampel CH₄ dari permukaan TPA pada 7 – 10 Mei 2010. Analisis sampel CH₄ dilakukan di Laboratorium Gas Rumah Kaca, Balai Penelitian Lingkungan Pertanian, Jakenan Pati – Jawa Tengah

2.2 Alat dan Bahan

2.2.1. Pendugaan emisi metana dengan perangkat lunak

Estimasi kuantitatif emisi metana menggunakan perangkat lunak *LandGEM-v302* (*Landfill Gas Emissions Model version 3.02*). Input data yang diperlukan *LandGEM-v302* yaitu: tahun TPA dibuka, tahun rencana TPA ditutup, pilihan model perhitungan penutupan, penentuan parameter model, dan jumlah sampah tahunan yang masuk ke TPA sejak tahun pembukaan TPA.

LandGEM-v302 mengikuti persamaan laju dekomposisi orde pertama dalam memperkirakan emisi tahunan pada periode waktu yang ditentukan.

$$Q_{CH_4} = \sum_{i=1}^n \sum_{j=0,1}^1 k L_0 \left(\frac{M_i}{10}\right) e^{-kt_{ij}} \dots \dots \dots (1)$$

Q_{CH_4} = jumlah metana tahunan yang dihasilkan pada tahun dilakukan perhitungan (m^3 /tahun)

i = peningkatan waktu 1 tahun

n = (tahun perhitungan) – (tahun awal pembukaan TPA)

j = peningkatan waktu 0,1 tahun

k = konstanta laju pembentukan metana (1/tahun)

L_0 = kapasitas metana potensial (m^3 /Mg)

M_i = massa dari sampah yang diterima pada tahun ke- i (Mg)

t_{ij} = umur ke- j massa sampah M_i yang diterima pada tahun ke- i

$$Q_{CO_2} = Q_{CH_4} \times \left\{ \left[\frac{1}{(P_{CH_4}/100)} \right] - 1 \right\} \dots \dots \dots (2)$$

Simulasi *LandGEM-v302* didasarkan pada pembentukan gas dari dekomposisi sampah secara anaerob di TPA dengan kandungan metana pada kisaran 40 – 60 %. Produksi karbon dioksida (Q_{CO_2}) dihitung dari produksi metana (Q_{CH_4}) dan persentase kandungan metana (P_{CH_4}) sesuai persamaan (2).

LandGEM-v302 memiliki konversi satuan m^3 /tahun menjadi satuan Mg/tahun atau satuan lain yang dapat diubah oleh pengguna berdasar pada persamaan di atas.

2.2.2 Pengukuran di lapangan

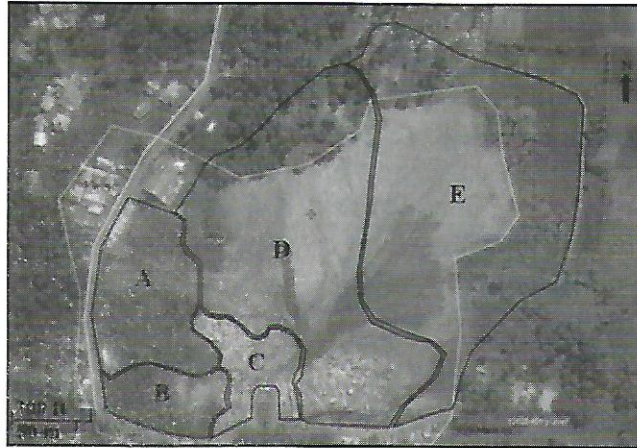
Alat dan bahan yang dibutuhkan dalam pengambilan sampel gas metana di TPA yaitu: boks *fiberglass* penangkap gas metana, suntikan (injektor polipropilena) 10 ml sebagai penyedot gas dari dalam boks, termometer, dan alat tulis. Selanjutnya

analisis di laboratorium GRK, alat dan bahan yang digunakan yaitu: *Gas Chromatograph* (GC) yang dilengkapi *flame ionization detector* (FID), sampel CH_4 , perangkat komputer dan *printer*.

2.3 Pengambilan Sampel

Pengambilan sampel gas dilakukan dalam tiga hari pada lima daerah pembagian permukaan TPA, yaitu: (A) lahan bekas TPA bervegetasi rumput, (B) lahan bekas TPA bervegetasi pisang, (C) awal pembuangan sampah, (D) daerah perataan oleh alat berat, dan (E) daerah sampah yang terbawa longsor.

Masing-masing daerah pembagian diambil tiga titik pengukuran. Setiap titik dilakukan empat kali pengambilan sampel gas menggunakan suntikan dengan interval waktu lima menit. Total sampel yang diambil berjumlah 60 buah.



Gambar 1. Citra Satelit TPA Galuga dan pembagian lokasi pengukuran (Wikimapia, 2010).

Sampel gas metana diperangkap dengan boks *fiberglass* berukuran 50x50x100 cm yang ditancapkan pada kedalaman 30 cm dari permukaan TPA. Boks dilengkapi dengan penutup karet (*septum*) sebagai medium ketika pengambilan sampel gas dengan suntikan. Termometer dipasang dalam boks selama pengambilan sampel gas. Pengambilan sampel dilakukan setelah penutupan boks pada menit ke 5, 10, 15, dan 20. Konsentrasi CH₄ dari sampel gas dianalisis pada *Gas*

Chromatograph (GC). Konsentrasi dihitung berdasarkan nilai area standar dan area sampel CH₄ yang dihasilkan dari GC. Konsentrasi CH₄ standar yang digunakan sebesar 10,1 ppm sehingga nilai konsentrasi CH₄ dapat dihitung dengan persamaan 3:

Slope antara konsentrasi CH₄ dengan waktu menunjukkan laju perubahan konsentrasi CH₄. Fluks dihitung dengan persamaan 4 (Lantin *et al.* 1995 dalam Setyanto *et al.* 2002):

$$\frac{x_{ppm}}{10,1 \text{ ppm}} = \frac{\text{area sampel}}{\text{area standar}} \dots\dots\dots (3)$$

$$E = \frac{Bm}{Vm} \times \frac{\delta c}{\delta t} \times \frac{V}{A} \times \frac{273,2}{T+273,2} \dots\dots\dots (4)$$

E = Fluks CH₄ (mg/m²/menit)

Bm = Berat molekul gas CH₄ dalam kondisi standar (16,123 g)

Vm = Volume gas pada kondisi standar (22,4 liter)

$\frac{\delta c}{\delta t}$ = Laju perubahan konsentrasi gas CH₄ (ppm/menit)

V = Volume boks (m³)

A = Luas dasar boks (m²)

T = Suhu udara rata-rata di dalam boks (°C)

Emisi CH_4 diperoleh dari rata-rata fluks CH_4 setiap daerah pengukuran dikalikan dengan luas masing-masing wilayah yang mewakilinya. Perhitungan luas TPA dilakukan secara manual dengan cara menghitung luas grid citra satelit TPA Galuga pada masing-masing wilayah pembagian pengukuran. Satuan emisi CH_4 dalam Megagram (Mg) per tahun.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

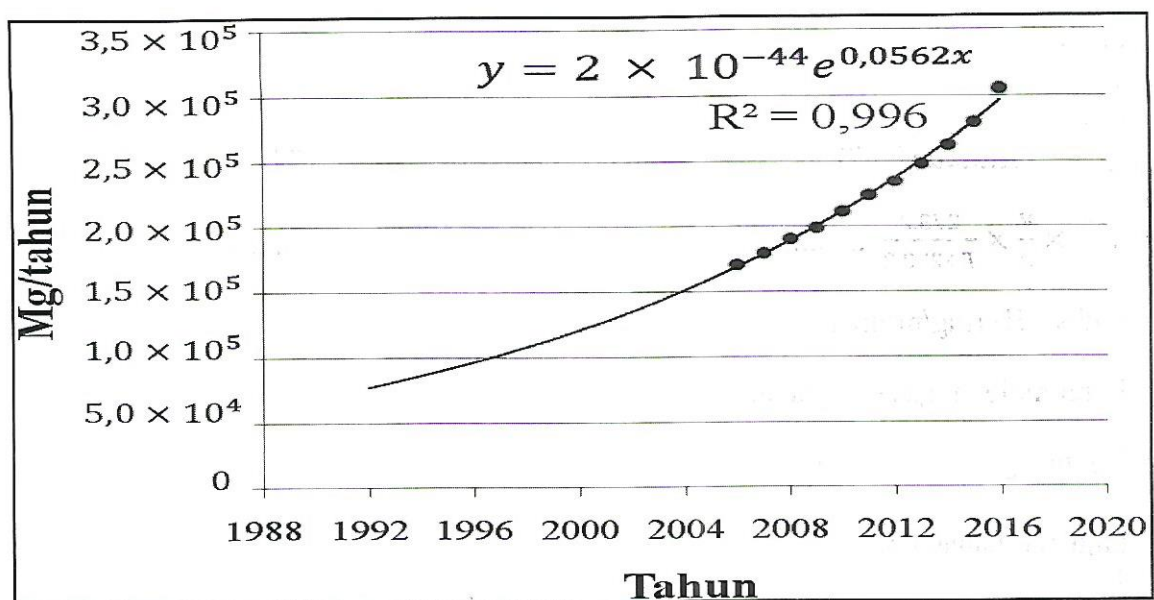
3.1 Kuantifikasi Emisi Metana

3.1.1 Hasil pendugaan emisi metana dengan *LandGEM-v302*

Data sampah tahunan diperlukan sebagai input pada pendugaan emisi gas dari TPA dengan perangkat lunak *LandGEM-v302*. Data volume sampah tahunan yang dimiliki Kantor Lingkungan Hidup (KLH) UPTD TPA Galuga Kota Bogor merupakan

perhitungan proyeksi (*forecasting*) dari konsultan untuk daerah kajian TPA Galuga tahun 2006-2016 (KLH Kota Bogor, 2007). Jumlah sampah yang tidak diketahui sejak tahun pembukaan TPA yaitu tahun 1992 diperkirakan dengan membuat persamaan eksponensial antara tahun dengan total produksi sampah yang tersedia (Gambar 2).

Prediksi dengan persamaan eksponensial dipilih karena memiliki nilai R^2 yang paling mendekati nilai 1 dibandingkan pendekatan dengan persamaan lain sehingga proyeksi ke tahun sebelumnya dapat akurat. Input data produksi sampah ini sangat berpengaruh signifikan terhadap nilai emisi yang dihasilkan dalam simulasi *LandGEM-v302*. Dengan demikian estimasi data sampah tahunan sejak tahun pembukaan TPA Galuga (tahun 1992) hingga tahun rencana penutupan oleh KLH Kota Bogor UPTD TPA Galuga (tahun 2012) dapat digunakan sebagai input data yang diperlukan pada *LandGEM-v302*



Gambar 2. Persamaan Eksponensial Antara Tahun dengan Total Produksi Sampah yang Tersedia

Ada dua parameter *defaults* pada *LandGEM-v302* yang digunakan untuk menduga emisi metana di TPA Galuga yaitu *CAAdefaults* dan

inventory defaults. Nilai *default* pembentukan metana (k) dan kapasitas pembentukan metana (L_0) pada dasarnya dikembangkan

untuk TPA-TPA yang berada di USA. TPA Galuga belum memiliki data konstanta k dan L_0 , akan tetapi nilai konstanta *defaults* tersebut dapat diterapkan karena relatif sesuai dengan kondisi kelembaban, temperatur, dan curah hujan yang tinggi di kawasan Bogor,

Tabel 1. Nilai laju pembentukan metana (k)

Tipe <i>default</i>	Tipe <i>landfill</i>	Nilai k (1/tahun)
CAA	Konvensional	0,05
CAA	Daerah kering	0,02
<i>Inventory</i>	Konvensional	0,04
<i>Inventory</i>	Daerah kering	0,02
<i>Inventory</i>	Lembab (bioreaktor)	0,7

(Sumber: USEPA, 2005)

Nilai konstanta k menentukan pembentukan metana dari setiap massa sampah di TPA. Nilai k adalah fungsi dari kandungan kelembaban sampah, ketersediaan nutrisi bagi bakteri metanogen, pH, dan temperatur (USEPA, 2005). Semakin tinggi nilai konstanta k , semakin cepat laju pembentukannya. Nilai k yang digunakan dalam simulasi pada parameter *CAA defaults* sebesar 0,05 per tahun, sedangkan parameter *inventory defaults* sebesar 0,04 per tahun.

Nilai L_0 dari kedua parameter memiliki selisih yang cukup signifikan, yaitu 170 m^3/Mg untuk *CAA defaults* dan 100 m^3/Mg untuk *inventory defaults*. Perbedaan nilai tersebut didasarkan pada jenis dan komposisi sampah terhadap kandungan selulosa dalam

Dalam simulasi *LandGEM-v302*, produksi metana yang ditentukan dengan menggunakan konsentrasi metana. Akan

tempat TPA Galuga berada. *Default* tipe *landfill* yang digunakan dalam simulasi dengan *LandGEM-v302* adalah TPA konvensional dimana diasumsikan tidak ada tambahan air lindi atau cairan (USEPA, 2005) seperti dapat dilihat pada tabel

Tabel 2. Nilai kapasitas pembentukan metana potensial (L_0)

Tipe emisi	Tipe <i>landfill</i>	Nilai L_0 (m^3/Mg)
CAA	Konvensional	170
CAA	Daerah kering	170
<i>Inventory</i>	Konvensional	100
<i>Inventory</i>	Daerah kering	100
<i>Inventory</i>	Lembab (bioreaktor)	96

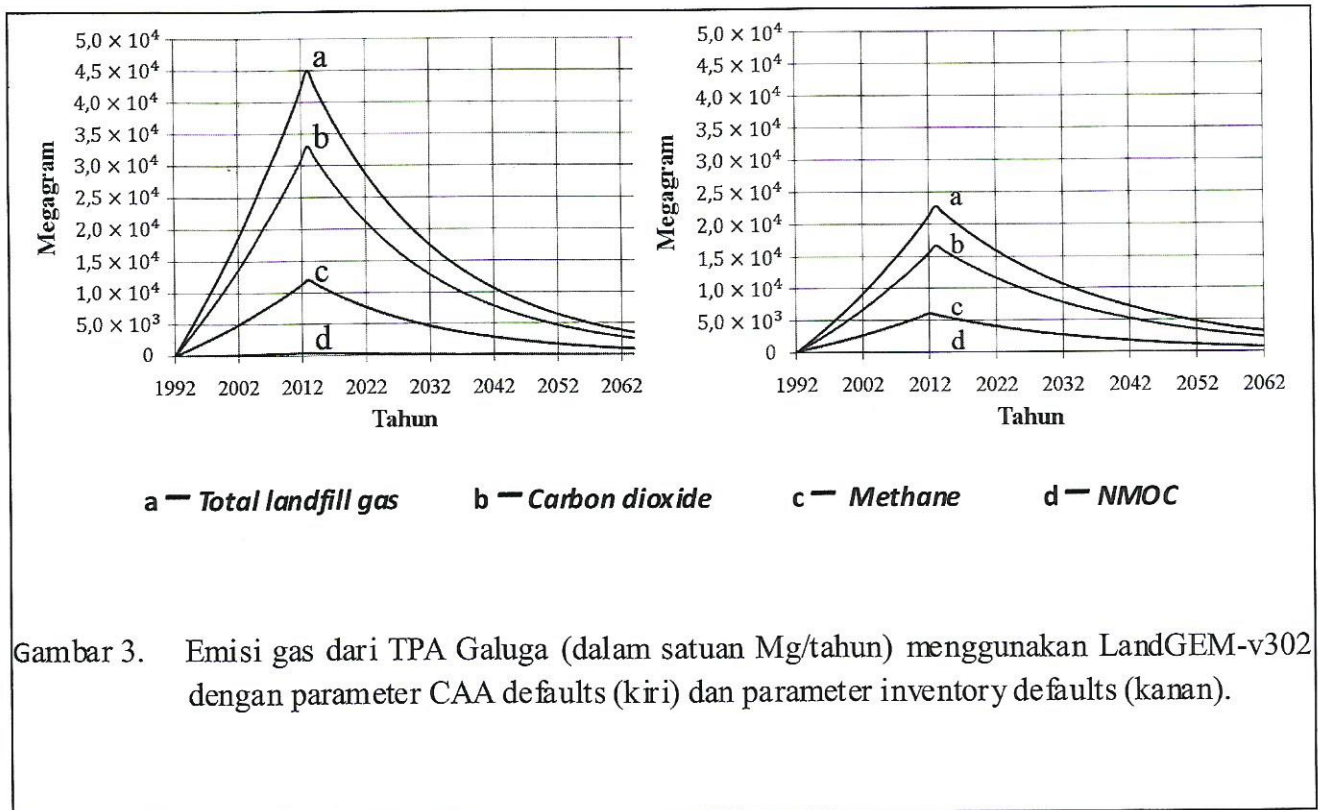
sampah di TPA yang tercantum dalam CAA dan faktor emisi EPA (AP-42). Nilai kapasitas pembentukan metana dapat dilihat pada 2.

Simulasi pendugaan potensi emisi TPA Galuga dengan *LandGEM-v302* menghasilkan emisi total gas TPA yang terdiri dari metana, karbon dioksida, dan senyawa organik non-metana dari tahun 1992 sampai 2062 (Gambar 3). Simulasi model menghasilkan emisi total gas TPA maksimum pada tahun 2013 dengan parameter *CAA defaults* sebesar 45,02 Gg/tahun dengan emisi metana yang dihasilkan 12,03 Gg/tahun, sedangkan pada parameter *inventory defaults* sebesar 22,76 Gg/tahun dengan emisi metana yang dihasilkan 6,08 Gg/tahun (Gambar 3).

tetapi, konsentrasi metana mempengaruhi perhitungan produksi karbon dioksida. Komposisi emisi TPA yang diasumsikan

dalam *LandGEM-v302* sebesar 50% metana dan 50% karbon dioksida, dengan tambahan polutan udara lainnya, sehingga berdasarkan persamaan (2) menghasilkan jumlah volume emisi metana sama dengan volume emisi karbon dioksida dalam satuan m^3/tahun . Kedua parameter menunjukkan emisi

unsur-unsur pokok penyerta dari NMOC dan maksimum tahun 2013 yaitu sebesar 18,03 juta m^3/tahun pada parameter *CAA defaults* dan 9,113 juta m^3/tahun pada parameter *inventory defaults* (Gambar 4).



Gambar 3. Emisi gas dari TPA Galuga (dalam satuan Mg/tahun) menggunakan *LandGEM-v302* dengan parameter *CAA defaults* (kiri) dan parameter *inventory defaults* (kanan).

3.1.2 Hasil pengukuran emisi CH_4 di lapangan

Pengukuran emisi CH_4 menggunakan metode *flux chamber* menentukan fluks di permukaan TPA. Waktu pengambilan sampel lebih dominan dilakukan pada pagi hari sebelum alat-alat berat di TPA Galuga beroperasi untuk mempermudah pengambilan sampel pada daerah pengukuran tertentu (Tabel 3). Pada Tabel 4, fluktuasi rata-rata suhu dalam boks berkisar antara $29,6 - 39,3$ $^{\circ}\text{C}$.

Hal ini tidak memberikan pengaruh yang signifikan terhadap perhitungan fluks CH_4 . Rata-rata suhu tersebut menjadi komponen perhitungan rasio suhu dalam persamaan

(4).tertentu (Tabel 3). Pada Tabel 4, fluktuasi rata-rata suhu dalam boks berkisar antara $29,6 - 39,3$ $^{\circ}\text{C}$. Hal ini tidak memberikan pengaruh yang signifikan terhadap perhitungan fluks CH_4 . Rata-rata suhu tersebut menjadi komponen perhitungan rasio suhu dalam persamaan (4).

3.1.3 Kuantifikasi Emisi Metana TPA Galuga

Estimasi yang dihasilkan dari simulasi kedua parameter model *LandGEM-v302* (*CAA defaults* dan *inventory defaults*) menunjukkan perbedaan yang signifikan. Emisi metana dengan parameter model *CAA defaults* maksimum sebesar 12,03 Gg/tahun,

sedangkan parameter model *inventory defaults* hanya sebesar 6,08 Gg/tahun. Berdasarkan model persamaan (1) *LandGEM-v302*, emisi maksimum metana TPA Galuga terjadi tepat pada awal 2013 yaitu satu tahun setelah simulasi penutupan TPA pada akhir 2012 dimana pada tahun tersebut masih terdapat input sampah ke TPA hingga akhir tahun 2012. Metana kemudian meluruh secara bertahap sesuai dengan konstanta k .

Penelitian terdahulu mengenai pendugaan emisi metana dilakukan di TPA Bantar Gebang Bekasi Jawa Barat dengan menggunakan perangkat lunak E-PLUS (*Energy Project Landfill Gas Utilizations Software*) (Yusrizal, 2000). TPA Bantar Gebang beroperasi sejak tahun 1989 dengan luas lahan 108 Ha dan total sampah yang masuk sebanyak 5.000 ton/hari. Dalam penelitian tersebut diperoleh total pendugaan emisi metana TPA Bantar Gebang sebesar 55,4 Gg/tahun atau 4,6 kali lebih besar dibandingkan emisi metana TPA Galuga. Oleh karena itu, emisi dapat dipengaruhi oleh luas lahan, usia, massa dan volume sampah yang berada di TPA.

Pengukuran emisi di lapangan dengan *flux chamber* hanya menentukan emisi CH_4 aktual yang terdapat di permukaan TPA pada periode dan waktu tertentu. Besar emisi yang diperoleh adalah 368,9 Mg/tahun. Jumlah emisi ini jauh lebih kecil jika dibandingkan dengan hasil pendugaan dengan *LandGEM-v302* karena perangkat lunak tersebut menduga potensi emisi secara kumulatif sejak tahun pertama pembukaan TPA. Ukuran ideal kedalaman penancapan *flux chamber* dalam pengambilan sampel metana adalah lima kaki (152,4 cm) di bawah permukaan tanah agar mengurangi efek perubahan suhu dan tekanan dari permukaan (TWG, 2002). Namun hal ini tidak dapat dilakukan di permukaan TPA Galuga karena keterbatasan sarana dan prasarana.

Hasil perhitungan emisi CH_4 aktual dari TPA Galuga pada hari kedua, umumnya menunjukkan nilai laju perubahan konsentrasi yang bernilai negatif. Kondisi pada malam sebelum pengukuran hari kedua telah terjadi hujan sehingga kadar air dan kelembaban lapisan permukaan TPA Galuga mengalami peningkatan. Nilai fluks yang negatif mengindikasikan pada saat pengukuran terjadi penyerapan gas yang ada di dalam boks sungkup oleh permukaan TPA.

Fluks negatif dapat terjadi seperti penelitian yang dilakukan oleh Lessard *et al.* (1994) dalam Topp dan Pattey (1997) yang mengukur fluks metana di lahan hutan di kondisi lingkungan yang tepat dan populasi mikroba yang diperlukan untuk terbentuknya metana. Namun nilai emisi di lokasi C relatif tinggi sebesar 11,9 Mg/tahun. Hal ini karena metana telah terbentuk di dalam lapisan anaerob bagian dasar TPA dan terlepas ke atmosfer melalui celah-celah di antara tumpukan sampah, sehingga konsentrasi yang terukur di lokasi tersebut relatif tinggi.

Daerah pengamatan yang memiliki emisi CH_4 tertinggi adalah lokasi D sebesar 328,9 Mg/tahun. Permukaan lahan TPA Galuga pada lokasi tersebut telah diratakan dan dipadatkan oleh alat berat. Perlakuan pemadatan dapat menyebabkan kandungan udara di bagian permukaan TPA semakin sedikit. Hal ini memungkinkan untuk terjadinya kondisi anaerob sehingga bakteri metanogen dapat aktif menghasilkan gas metana.

Keberadaan titik pengukuran hari pertama di lokasi D memiliki nilai fluks tertinggi di antara titik pengamatan yang lain, yaitu sebesar 59,869 mg/m²/menit. Titik tersebut berada di dekat sisi dasar tebing TPA bekas longsor yang diduga telah terbentuk lapisan anaerob. Adanya longsor menyebabkan lapisan dasar TPA menjadi terbuka dan berinteraksi dengan atmosfer. Kandungan metana diperkirakan banyak terdapat di lapisan tersebut dan terlepas ke udara.

Emisi metana yang dihasilkan dari lokasi pengamatan E atau daerah sampah yang terbawa longsor sebesar 27,1 Mg/tahun. Rata-rata fluks metana yang terukur sebesar 1,7 mg/m²/menit. Lokasi E cukup luas sehingga total emisi yang dihasilkan dari area ini cukup signifikan. Daerah sampah yang terbawa longsor dapat mengalami perluasan dengan adanya longsor susulan atau perataan oleh alat berat, sehingga emisi CH₄ yang berasal dari daerah ini sangat diperhitungkan.

Lahan bekas TPA Galuga yang telah ditutupi lapisan tanah dan vegetasi pada daerah pengamatan A dan B tidak banyak melepaskan metana ke atmosfer. Emisi yang dihasilkan dari lokasi pengamatan A (vegetasi rumput) hanya sebesar 0,2 Mg/tahun. Bahkan pada lokasi B (vegetasi pisang) tidak terdapat emisi karena fluks yang terjadi di daerah tersebut bernilai negatif.

3.2 Cadangan Gas dan Emisi Aktual Metana di TPA Galuga

Cadangan metana di sebuah TPA berada dalam tumpukan sampah di bagian dasar yang sudah terbentuk lingkungan anaerob (Setyanto, 2010). Cadangan tersebut akan tetap tersimpan di dasar TPA, beberapa dapat melewati pori-pori tumpukan sampah dan hanya sedikit yang sampai ke permukaan (Gambar 5).

Hasil pendugaan emisi metana TPA Galuga dengan *LandGEM-v302* sejumlah 12,03 Gg/tahun menunjukkan potensi metana yang berada di TPA. Hal ini dapat dijelaskan berdasarkan hasil pengukuran emisi metana aktual dengan *flux chamber* bahwa emisi yang dilepaskan ke atmosfer dari permukaan TPA Galuga hanya sebesar 368,9 Mg/tahun. Potensi emisi metana dari simulasi *LandGEM-v302* bernilai 32 kali lebih besar dibandingkan emisi metana aktual yang diukur dengan *flux chamber*.

3.3 Potensi Gas Metana TPA Galuga

Potensi gas metana di TPA bergantung pada volume sampah yang masuk ke dalam TPA. Semakin banyak timbunan sampah, semakin banyak gas metana yang terbentuk. Energi listrik dapat dihasilkan dari TPA dengan syarat jumlah sampah minimal 400 sampai 500 ton per hari, tinggi timbunan sampah minimal 10 meter, serta sudah terdapat timbunan sampah 1,5 sampai 2 juta m³ sebelumnya (Sulistyowati, 2008). Berdasarkan data proyeksi perhitungan konsultan yang dimiliki KLH Kota Bogor UPTD TPA Galuga, estimasi volume sampah di TPA Galuga diperkirakan dapat mencapai 3.133.408,985 Megagram atau sekitar 3,1 juta ton jika dilakukan penutupan TPA pada akhir tahun 2012.

Setiap satu juta ton sampah dapat menghasilkan listrik sekitar 0,8 Megawatt dengan memanfaatkan gas TPA sebanyak 432.000 ft³/hari (LMOP, 2009). Estimasi kumulatif jumlah sampah yang masuk ke TPA Galuga hingga tahun 2012 akan mencapai 3,1 juta ton. Berdasarkan hal tersebut, jumlah sampah di TPA Galuga berpotensi menghasilkan listrik setelah tahun 2012 sekitar 2,5 MW dengan memanfaatkan gas metana TPA sebanyak 49.384 m³/hari.

Harga listrik berdasarkan tarif dasar listrik (TDL) untuk golongan tarif rumah tangga (golongan R-1/TR) dengan batas daya 450 VA dan 900 VA adalah Rp415 dan Rp605 per kWh (PLN, 2010). Apabila potensi gas metana di dalam sampah TPA Galuga dapat dimanfaatkan, maka dalam setahun nilai listrik yang digunakan akan mencapai Rp9.112.956.019,26 atau sekitar Rp9,1 Milyar per tahun oleh pengguna daya 450 VA. Listrik sebesar 2 MW dapat digunakan untuk memenuhi kebutuhan 400 keluarga (Sulistyowati, 2008), sehingga dengan potensi daya listrik sebesar 2,5 MW dari TPA Galuga dapat dimanfaatkan untuk 500 keluarga.

Tabel 5. Laju perubahan konsentrasi CH_4 ($\delta c/\delta t$) (ppm/menit)

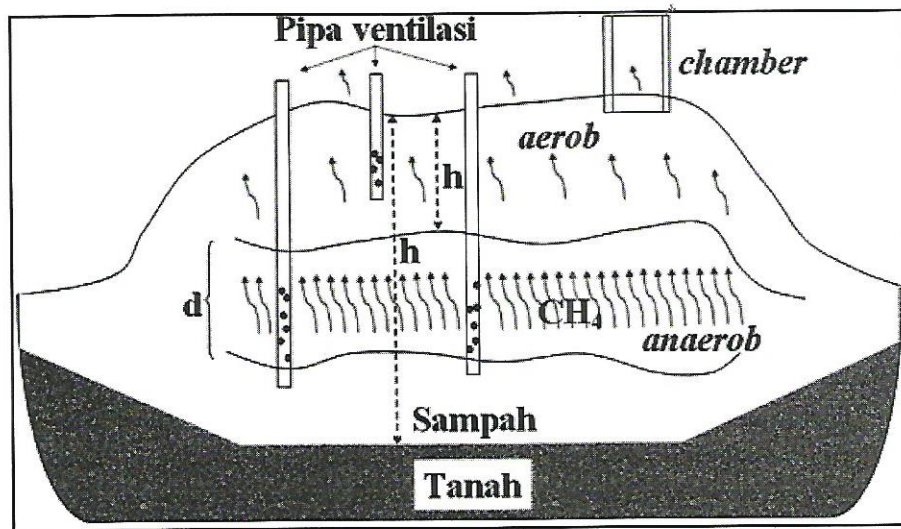
Lokasi	Pengukuran hari ke-		
	1	2	3
A	0,1575	-0,0455	0,8192
B	0,0782	-0,0711	-0,1173
C	267,900	-263,900	238,210
D	941,380	-25,255	14,091
E	10,942	14,219	55,374

Tabel 6. Fluks CH_4 [E] ($\text{mg}/\text{m}^2/\text{menit}$)

Lokasi	Pengukuran hari ke-			Rata-rata
	1	2	3	
A	0,101	-0,029	0,515	0,196
B	0,049	-0,046	-0,076	-0,024
C	17,164	-16,996	15,451	5,206
D	59,869	-1,620	0,915	19,721
E	0,692	0,906	3,502	1,700

Tabel 7. Emisi CH_4 TPA Galuga

Lokasi	mg/menit	mg/tahun	Mg/tahun
A	1.886,820	9,92x108	0,992
B			
C	22.647,211	1,19x1010	11,903
D	625.760,149	3,29x1011	328,899
E	51.613,140	2,71x1010	27,128
Total			368,922



Gambar 5. Potensi gas metana dari TPA (Setyanto, 2010).

4. KESIMPULAN

4.1 Kesimpulan

Kuantifikasi emisi metana di TPA Galuga yang diperkirakan melalui dua pendekatan dengan perangkat lunak *LandGEM-v302* dan metode pengukuran lapang *flux chamber* menghasilkan nilai emisi yang berbeda. Potensi emisi metana yang dihasilkan TPA Galuga berdasarkan simulasi *LandGEM-v302* tahun 1992-2012 mencapai maksimum pada tahun 2013 sebesar 12,03 Gg/tahun, sedangkan emisi aktual pada pengukuran lapang dengan metode *fluxchamber* dihasilkan emisi metana dari permukaan TPA sebesar 368,9 Mg/tahun.

Perbedaan karakteristik permukaan TPA sangat mempengaruhi emisi gas yang dilepaskan ke atmosfer. Perlakuan penutupan permukaan TPA dengan tanah dan vegetasi seperti pada daerah pengukuran A dan B memiliki nilai emisi metana yang relatif sedikit sehingga dapat mengurangi emisi metana ke atmosfer.

Kondisi kelembaban atau kadar air dalam sampah juga mempengaruhi laju emisi metana dari TPA. Nilai rata-rata fluks terendah sebesar $-0,024 \text{ mg/m}^2/\text{menit}$ terjadi pada

daerah vegetasi pisang di atas lahan bekas TPA, sedangkan fluks rata-rata tertinggi sebesar $19,721 \text{ mg/m}^2/\text{menit}$ terjadi pada daerah perataan oleh alat berat.

Pemanfaatan gas metana dari TPA Galuga dengan cara diolah menjadi bahan bakar pembangkit listrik secara finansial dapat bernilai ekonomi. Potensi sampah yang terdapat di TPA Galuga di atas tahun 2012 sejumlah 3,1 juta ton diperkirakan dapat menghasilkan energi listrik sebesar 2,5 MW dari pengolahan gas metana yang setara dengan Rp 9,1 Milyar per tahun.

4.2 Saran

Penelitian ini masih bersifat tahap awal. Dianjurkan terdapat penelitian lebih lanjut dan mendalam mengenai kuantifikasi emisi metana dari suatu TPA di Indonesia.

Metode lain dalam pendugaan emisi dengan perangkat lunak atau kuantifikasi di lapangan dapat dilakukan sebagai perbandingan dalam mengevaluasi sejauh mana metode tersebut relevan digunakan pada daerah kajian TPA. Jumlah sumberdaya manusia di lapangan yang proporsional dan kinerja yang intensif juga diperlukan agar pengukuran lapang dapat berjalan dengan baik.

Berdasarkan potensi yang terdapat di TPA Galuga dalam pemanfaatan metana menjadi bahan bakar pembangkit listrik, diharapkan Pemerintah setempat tidak menutup TPA pada tahun 2012. Massa dan volume sampah yang terus bertambah dapat menghasilkan potensi yang lebih besar, namun juga dengan memperhatikan keadaan fisik TPA, sosial, ekonomi, dan lingkungan bagi daerah di sekitar TPA Galuga.

REFERENCES:

- Badan Pengendalian Lingkungan Hidup Daerah (2007). **West Java Annual State of The Environment Report (ASER)**. Bandung, Jawa Barat – Indonesia.
- Kementerian Energi Sumber Daya dan Mineral (2010). **TPST Bantar Gebang hasilkan listrik 26 MW**. [terhubung berkala]. <http://esdm.go.id/berita/listrik/39-listrik/3609-tpst-bantar-gebang-hasilkanlistrik26mw.html> [20 Oktober 2010].
- Kantor Lingkungan Hidup (2007). **Perhitungan Konsultan: Daerah kajian TPA Galuga**. UPTD TPA Galuga. Pemerintah Kota Bogor.
- Landfill Methane Outreach Program (2009). **Landfill Gas: A proven sources of alternatif energy**. *9th Annual BioCycle Conference: Renewable Energy from Organics*. 19-21 Oktober 2009. U.S. Environmental Protection Agency.
- Perusahaan Listrik Negara (2010). **Tarif Dasar Listrik (TDL); Lampiran Peraturan Menteri ESDM Nomor: 07 Tahun 2010 Tanggal 30 Juni 2010**. PT PLN (Persero).
- Technical Working Group (2002). **Soil Vapor Sampling; Vapor Sampling Methodology**. SAM Soil Vapor Guidelines.
- United States Environmental Protection Agency (2005). **Landfill Gas Emissions Model (LandGEM) version 3.02 User's Guide**, EPA-600/R-05/047(May 2005). Research Triangle Park, NC.
- Boucher O, Friedlingstein P, Collins B, and Shine KP (2009). **The indirect global warming potential and global temperature change potential due to methane oxidation**. *Environmental Research Letters*.4. 044007. 5pp.

- Doorn, MRJ and Barlaz, MA (1995). **Estimate of global methane emissions from landfills and open dumps; project summary.** Air and Energy Engineering Research Laboratory, U.S. Environmental Protection Agency. Research Triangle Park, NC.
- Jacobs, J and Scharff, H (2006). **Applying guidance for methane emission estimation for landfills.** *Waste Management*. **26**. 417–429.
- Infokom Portal Jateng (2007). **Pemanfaatan gas metana sebagai penghasil listrik,** 10-05-2007. [terhubung berkala]. http://www.indonesia.go.id/id/index.php?option=com_content&task=view&id=4283&Itemid=826 [11 Februari 2010].
- Setyanto P, Rosenani AB, Makarim AK, Che Fauziah I, Bidin A, dan Suharsih (2002). **Soil controlling factors of methane gas production from flooded rice fields in Pati District, Central Java.** *Indonesian Journal of Agricultural Science*. **3(1)**. 1-11.
- Setyanto, P (2010). Komunikasi personal. Balai Penelitian Tanah, Balai Besar Penelitian dan Pengembangan Sumber Daya Lahan Pertanian (BBSDL^{*}LP). Departemen Pertanian Kota Bogor.
- Sulistiyowati (2008). **Emas hijau bernama sampah,** Gatra edisi 10-09-2008. [terhubung berkala]. <http://www.gatra.com/2008-09-01/majalah/beri.php?pil=23&id=118274> [17 Februari 2010].
- Talyan V, Dahiya RP, Anand S, and Sreekrishnan TR (2007). **Quantification of methane emission from municipal solid waste disposal in Delhi.** *Resources, Conservation and Recycling*. **50**. 240–259.
- Thorneloe SA, Barlaz MA, Peer R, Huff LC, Davis L, and Mangino J (2000). **Waste management. In: Atmospheric Methane: Its role in the global environment,** (Khalil MAK, *ed.*). Springer-Verlag, Heidelberg. p. 234-262.
- Topp, E and Pattey E (1997). **Soils as sources and sinks for atmospheric methane.** *Canadian Journal of Soil Science*. **7**. 167-178.

Yusrizal (2000). **Pendugaan Emisi Metana dari Landfill Bantar Gebang**. Skripsi. Jurusan Geofisika dan Meteorologi. FMIPA. IPB. (tidak dipublikasikan)

Wikimapia (2010). **Citra Satelit TPA Galuga**. [terhubung berkala]. <http://www.wikimapia.org/#lat=-6.5662931&lon=106.6430211&z=18&l=0&m=b> [11 Februari 2010].