

PERFORMA OKSIDASI METAN PADA REAKTOR KONTINYU DENGAN PENINGKATAN KETEBALAN LAPISAN *BIOCOVER* LANDFILL

Opy Kurniasari^{1*)}, Tri Padmi²⁾, Edwan Kardena²⁾, dan Enri Damanhuri²⁾

¹⁾Mahasiswa Program Doktor, Teknik Lingkungan ITB, Jl. Ganesha No. 10 Bandung

²⁾Program Studi Teknik Lingkungan FTSL- ITB, Jl. Ganesha No. 10 Bandung

^{*}Penulis korespondensi: opy_ksw@yahoo.com

Abstract

PERFORMANCE OF METHANE OXIDATION IN CONTINUOUS REACTOR BY BIOCOVER LANDFILL FILM THICKNESS IMPROVEMENT. *Municipal solid waste (MSW) handling in Indonesia is currently highly dependent on landfilling at the final disposal facility (TPA), which generally operated in layer-by-layer basis, allowing the anaerobic (absent of oxygen) process. This condition will certainly generate biogas in the form of methane (CH₄) and CO₂. Methane is a greenhouse gas with a global warming potential greater than CO₂, and can absorb infrared radiation 23 times more efficient than CO₂ in the period of over 100 years. One way that can be done to reduce methane gas from landfills that escape into nature is to oxidize methane by utilizing landfill cover material (biocover) as methane-oxidizing microorganism media. Application of compost as landfill cover material is a low-cost approach to reduce emissions so are suitable for developing countries. The compost used in this study was compost landfill mining, which is degraded naturally in landfill. The purpose of this study was to evaluate the ability of biocover to oxidize the methane on a certain layer thickness with a continuous flow conditions. Three column reactors were used, which were made of flexy glass measuring 70 cm in high and 15 cm in diameter. The methane flowed from the bottom of the reactor continuously at a flow rate of 5 ml/minute. The columns were filled with biocover compost landfill mining with layer thickness of 5, 25, 35 and 60 cm. The results showed that the thicker layer of biocover, the higher the efficiency of methane oxidation. The oxidation efficiency obtained in each layer thickness of 15, 25, 35 and 60 cm was 56.43%, 63.69%, 74.58% and 80, 03% respectively, with the rate of oxidation of 0.29 mol m⁻² d⁻¹ and the fraction of oxidation of 99%. The oxidation result was supported by the identification of bacteria isolated in this experiment, namely metanotrophic bacteria that have the ability to oxidize methane through the form of methanol metabolite.*

Keywords: *biocover; garbage; greenhouse gases; landfill; methane; oxidation*

Abstrak

Penanganan sampah kota di Indonesia pada umumnya dilakukan pada tempat pemrosesan akhir sampah (TPA), yang sebagian besar dilakukan dengan cara pengurugan (landfilling) yang cenderung bersifat anaerob (tidak ada oksigen). Cara pengurugan ini biasanya dioperasikan lapis per lapis sehingga memungkinkan terjadinya proses anaerob. Pada kondisi ini dipastikan biogas, yaitu gas metana (CH₄) dan CO₂, akan muncul. Metana adalah gas rumah kaca dengan potensi pemanasan global lebih besar dari CO₂, dan dapat mengabsorpsi radiasi infra merah 23 kali lebih efisien dari CO₂ pada periode lebih dari 100 tahun. Salah satu cara yang dapat dilakukan untuk mengurangi gas metana dari landfill yang lepas ke alam adalah dengan mengoksidasinya dengan memanfaatkan material penutup landfill (biocover) sebagai media mikroorganisma pengoksidasi metana. Aplikasi kompos sebagai material penutup landfill merupakan pendekatan dengan biaya rendah untuk mereduksi emisi gas dari landfill sehingga cocok untuk negara berkembang. Biocover yang digunakan pada penelitian ini adalah kompos landfill mining, yaitu kompos yang terdegradasi secara alami di landfill. Tujuan penelitian ini adalah mengevaluasi kemampuan biocover kompos landfill mining dalam mengoksidasi metana pada ketebalan lapisan tertentu dengan kondisi aliran kontinyu. Tiga buah reaktor kolom yang digunakan terbuat dari flexy glass berukuran tinggi 70 cm dan diameter 15 cm. Gas metana dialirkan dari bawah reaktor secara kontinyu dengan laju alir 5 ml/menit. Kolom diisi dengan biocover kompos landfill mining dengan ketebalan lapisan 5, 25, 35 dan

60 cm. Hasil percobaan menunjukkan bahwa semakin tebal lapisan biocover, semakin tinggi efisiensi oksidasi metana. Efisiensi oksidasi yang diperoleh pada setiap ketebalan lapisan 15, 25, 35 dan 60 cm adalah masing-masing 56,43%, 63,69%, 74,58% dan 80,03%, dengan laju oksidasi $0,287 \text{ mol m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ dan fraksi oksidasi 97%. Hasil oksidasi yang diperoleh tersebut diperkuat dengan identifikasi bakteri yang berhasil diisolasi, yaitu bakteri metanotrofik yang memiliki kemampuan dalam mengoksidasi metana melalui metabolit antara berupa metanol.

Kata kunci: biocover; sampah; gas rumah kaca; landfill; metana; oksidasi

PENDAHULUAN

Penanganan sampah kota di Indonesia pada umumnya dilakukan pada tempat pemrosesan akhir sampah (TPA), yang sebagian besar dilakukan dengan cara pengurugan (*landfilling*). Cara pengurugan ini biasanya dioperasikan lapis per lapis sehingga memungkinkan terjadinya proses anaerob (tidak ada oksigen). Salah satu permasalahan dari cara ini adalah munculnya gas bio (CO_2 dan CH_4) yang dianggap merupakan gas utama penyebab gas rumah kaca. *Landfill* mempunyai kontribusi kira-kira 20-70 Tg untuk emisi gas metana setiap tahun (IPCC, 2001). CH_4 adalah gas rumah kaca yang lebih aktif dengan potensial pemanasan global lebih besar dari CO_2 . Metana dapat mengabsorpsi radiasi infra merah 23 kali lebih efisien dari CO_2 , pada periode lebih dari 100 tahun (IPCC, 2001).

Penanganan Gas bio dapat dilakukan dengan ditangkap, dialirkan kemudian dibakar atau dimanfaatkan sebagai sumber energi. Tetapi sebagian besar gas *landfill* pada TPA Indonesia adalah dilepaskan ke atmosfer. Cara lain yang lebih sederhana dan murah untuk mengurangi emisi gas metana adalah mengoksidasinya dengan memanfaatkan bahan penutup (*cover material*) *landfill* sebagai media mikroorganisma pengoksidasi metana (Humer dan Lechner, 2001) yang dikenal sebagai *biocover*.

Oksidasi gas metana dilakukan oleh mikroorganisma (bakteri) metanotrofik. Banyaknya metana yang dioksidasi dapat dipengaruhi oleh temperatur. Berdasarkan studi kepustakaan, temperatur optimal untuk oksidasi gas metana berkisar antara 20°C hingga 36°C , namun oksidasi yang terjadi pada 20°C hanya setengah dari yang ditemukan pada 30°C (Visvanathan dkk., 1999). Temperatur optimal tersebut, sesuai untuk kondisi iklim di Indonesia.

Selain temperatur jumlah metana yang dapat dioksidasi oleh bakteri ini juga tergantung pada ketersediaan gas metana, ketersediaan oksigen, tekanan, dan kondisi dari media penutup tersebut. Media penutup tanah dapat direkayasa untuk mencapai pertumbuhan optimum bakteri pengoksidasi metana, sehingga meningkatkan oksidasi biologis dari CH_4 . Berbagai media penutup *landfill* memiliki konfigurasi dan substrat yang berbeda untuk mendukung pertumbuhan mikroorganisma metanotrofik (Morales, 2006).

Media pendukung pertumbuhan mikroorganisma yang memiliki cukup nutrisi salah satunya adalah kompos, yang mempunyai

permeabilitas gas tinggi, bidang permukaan luas dan kondisi lingkungan yang cocok untuk perkembangbiakan metanotrofik. Menurut Barlaz dkk. (2004), kompos merupakan media yang dapat digunakan sebagai lapisan penutup tanah *landfill* oleh karena itu pada material ini diharapkan bisa terjadi oksidasi metana secara biologi yang lebih baik daripada tanah biasa.

Aplikasi kompos sebagai material penutup merupakan pendekatan dengan biaya rendah untuk mereduksi emisi sehingga cocok untuk negara berkembang. Karena kompos dapat disiapkan dari sampah organik dari *landfill*, maka tidak ada biaya ekstra untuk transportasi tanah dari tempat lain. Dibanding tanah biasa, kompos mempunyai ruang pori relatif besar yang terisi udara (kompos: 50%, tanah: 20-30%) sehingga memberikan oksigen lebih untuk oksidasi metana dan membuat daerah aerobik pada penutup yang lebih luas (Mor dkk., 2006).

Selain kesulitan mencari lahan TPA yang cocok, salah satu permasalahan operasional pada teknologi pengurugan di Indonesia adalah kesulitan mencari tanah penutup. Sementara di Indonesia banyak TPA yang sudah cukup lama tidak digunakan dan dibiarkan begitu saja. Menurut Kurian dkk. (2003), material penutup berupa kompos dapat disiapkan dari sampah organik yang sudah lama dibuang selama bertahun-tahun, dengan melakukan serangkaian kegiatan seperti penggalian, proses pencacahan, penyaringan dan pemanfaatan bahan. Kegiatan ini dikenal sebagai penambangan lahan-urug (*landfill mining*). Untuk itu salah satu alternatif tanah penutup TPA yang dapat digunakan sebagai media oksidasi metana adalah dengan menggunakan kompos *landfill mining*.

Penempatan lapisan kompos di atas tanah penutup *landfill* akan lebih menahan aliran gas dengan jalur aliran yang lebih panjang. Kompos mempunyai kapasitas tinggi untuk menyimpan kelembaban, sehingga mampu menjaga seluruh profil tanah dengan kandungan air paling tinggi, yang akan menghasilkan permeabilitas gas rendah dan koefisien difusi rendah (Stern dkk., 2007).

Kapasitas oksidasi metana diharapkan meningkat seiring dengan peningkatan ketebalan dari lapisan *biocover*, karena peningkatan massa dan volume media yang tersedia mendukung untuk pertumbuhan metanotrofik, menyediakan metana dan suplai oksigen (untuk mikroorganisma) dan kondisi lain yang mendukung seluruh profil vertikal (Einola

dkk., 2011 dalam Humer, 2004). Selain itu, sebuah *cover* yang tebal umumnya memberikan waktu retensi lebih lama untuk metana, yang dapat meningkatkan oksidasi (Stern dkk., 2007). Tujuan penelitian ini adalah untuk mengevaluasi kemampuan *biocover* kompos *landfill mining* dalam mengoksidasi metana pada ketebalan lapisan tertentu dengan kondisi aliran kontinyu.

MATERIAL DAN METODA

Biocover yang digunakan adalah kompos *landfill mining* yang berumur lebih dari 7 tahun yang diperoleh dari TPA Jelekong, Kabupaten Bandung. Sumber metana adalah metana murni 99%. Percobaan dioperasikan secara kontinyu dengan menggunakan reaktor-reaktor kolom skala laboratorium yang terbuat dari flexy glass dengan ukuran 70 x 15 cm, sebanyak 3 buah, seperti yang terlihat pada Gambar 1. Kolom dilengkapi dengan 5 buah *port sampling* yang terletak 1 buah di bagian bawah sebagai inlet, 1 buah di bagian atas sebagai outlet (*port 4*) serta 3 buah pada bagian samping reaktor (*port 1,2, dan 3*) dengan ketinggian 15, 25, 35 dan 60 cm. Masing-masing ketinggian mewakili ketebalan lapisan *biocover*. Selain itu, reaktor juga dilengkapi dengan 3 buah *port sampling* untuk pengambilan sampel mikroba, saluran untuk pasokan udara, dan saluran pembuangan air. Bagian bawah kolom dilengkapi dengan lapisan kerikil untuk penyeragaman distribusi gas dan sebagai penyangga. Debit pasokan udara adalah sebesar 127 ml/menit untuk mendapatkan oksigen yang dialirkan dengan menggunakan pompa udara. Temperatur operasi

sesuai temperatur laboratorium. Kelembaban dan nutrisi (C, N, P) sesuai kondisi media.

Material *biocover* dimasukkan ke dalam kolom dengan kedalaman 60 cm, kemudian gas metana murni di alirkan secara kontinyu dari bagian bawah reaktor (*upflow*) melalui media tersebut dengan pengaturan debit 5,0 ml/menit. *Flow meter* digunakan untuk mengatur debit aliran gas metana yang dialirkan ke dalam reaktor dalam satuan ml/menit. Analisis gas CH₄, CO₂ dan O₂ pada setiap *port sampling* yang mewakili setiap ketebalan lapisan *biocover* dilakukan selama proses penelitian dengan rentang waktu setiap hari, menggunakan. *Gas Analyzer (portable combination gas detector mode RX-515)*.

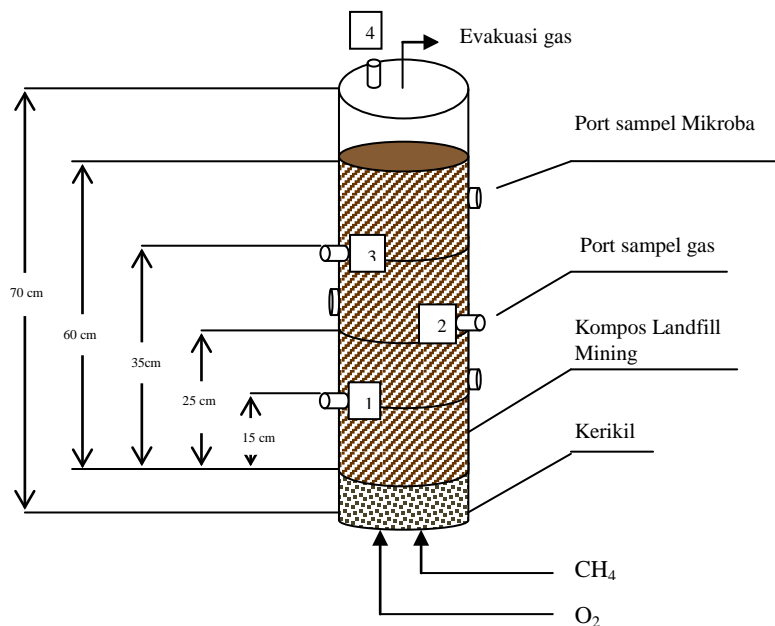
Untuk menghitung laju oksidasi gas metana digunakan rumus sebagai berikut (Abichou dkk., 2006):

1. Flux Metana ke dalam *biocover* (inlet)

$$J_{in} = \frac{Q * f_v * M * U_i * P}{A * R * K} \text{ (g.m}^{-2}\text{hari}^{-1}) \quad (1)$$

Dimana:

- Q = laju alir gas landfill sintetik (mL.menit⁻¹)
- f_v = fraksi *actual volumetric inflow* metana
- M = molar massa metana (16 g.mol⁻¹)
- U_i = konversi unit faktor (1,44 L.mnt(mL.hari)⁻¹)
- P = tekanan pada *flow meter* (atm.)
- A = area yang ditutup biofilter (m²)
- R = konstanta gas (0.08205 L. atm. (kmol)⁻¹)
- K = temperatur udara (Kelvin)



Gambar 1. Reaktor kolom percobaan

2. Flux Metana dari *Biocover* (*Out*)

Nilai J_{out} ($g.m^{-2}.hari^{-1}$) ditentukan dari perubahan konsentrasi, C (ppmv) terhadap waktu (menit) yang dihitung dengan menggunakan rumus:

$$J_{out} = \frac{dc/dt * m * v * U_o * P}{A * R * K} \quad (2)$$

U_o = konversi unit faktor ($0,00144 L.mnt/\mu L.hari$)

V = volume *headspace* (L)

Dc/dt = regresi linier

3. Laju oksidasi, J_{ox} ($g.m^{-2}.hari^{-1}$) adalah:

$$J_{ox} = J_{in} - J_{out} \quad (3)$$

4. Fraksi oksidasi metana, F_{ox} yaitu:

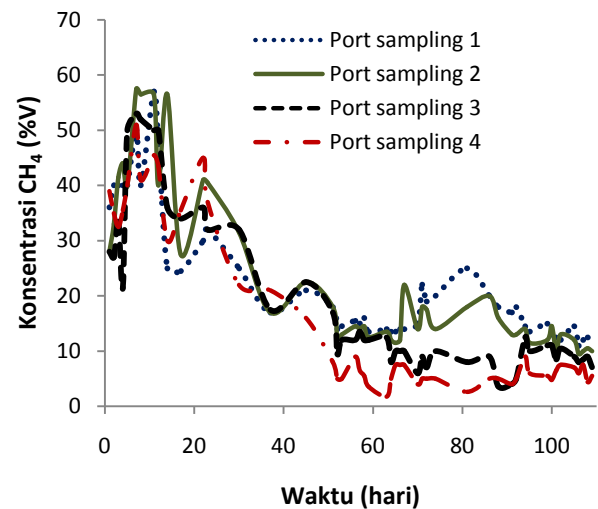
$$F_{ox} = \frac{J_{ox}}{J_{in}} \quad (4)$$

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Dengan konfigurasi reaktor kolom yang digunakan, maka luas biocover adalah $0,28 m^2$. Gas CH_4 murni dialirkan dari bawah reaktor dengan laju alir 5 ml/menit, sehingga diperoleh *flux* yang masuk ke dalam *biocover* sebesar $10,71 m^3/ha.jam$. Nilai *flux* ini berada dalam rentang nilai *flux* $1,7-15,9 m^3/ha.jam$ yang dilakukan oleh Einola dkk. (2009) pada percobaan skala lapangan di Aikkala Landfill (Finlandia) dengan cover material campuran *sludge compost* dan *peat*.

Rata-rata oksigen inlet pada percobaan ini adalah 11%; ketersediaan oksigen merupakan hal penting dalam proses oksidasi. Tanpa oksigen, bakteri metanotrofik tidak dapat mengubah gas metana menjadi karbondioksida, air dan biomassa (Morales, 2006). Czepiel dkk. (1996) menyatakan bahwa tanah landfill dapat mengoksidasi gas metana antara $775 nmol/jam/gram$ tanah kering hingga $930 nmol/jam/gram$ tanah kering, dengan kadar oksigen 3% hingga 20,8%. Di bawah kadar oksigen 3%, oksidasi gas metana tidak akan terjadi. Pada kultur bakteri murni, kadar oksigen yang diperlukan berkisar antara 0,45% hingga 20% untuk mencapai laju oksidasi optimum gas metana (Wilshusen dkk., 2004). Rata-rata oksigen inlet pada percobaan ini adalah 11%.

Pengoperasian reaktor kontinu telah dilakukan selama 109 hari. Untuk mengetahui penurunan konsentrasi CH_4 , pada reaktor kolom dilakukan pengambilan dan analisis sampel setiap hari pada masing-masing *port sampling* yang mewakili ketebalan lapisan *biocover*. Konsentrasi CH_4 terhadap waktu operasi pada reaktor kolom dapat dilihat pada Gambar 2.

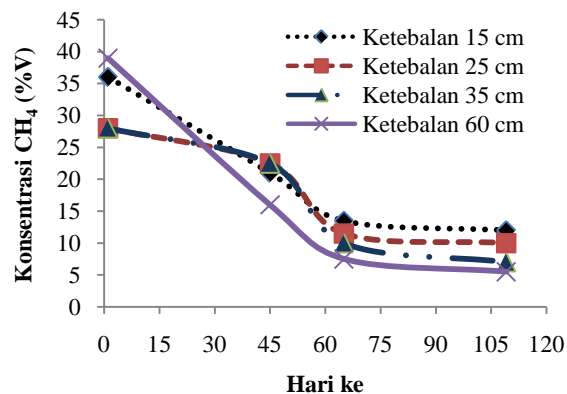


Gambar 2. Konsentrasi CH_4 terhadap waktu operasi

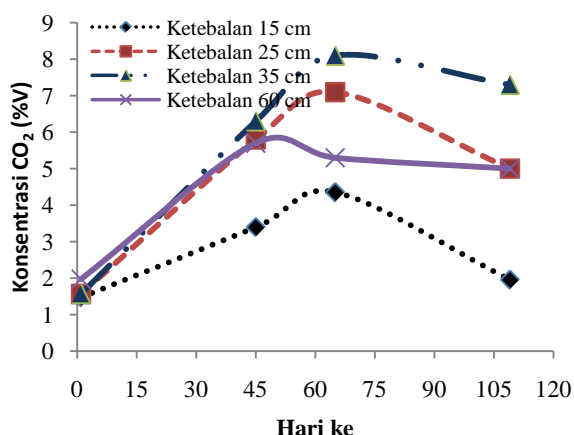
Pada fase awal percobaan, konsentrasi gas metana menurun, dan beberapa hari kemudian meningkat kembali. Hal ini diperkirakan karena adanya proses adsorpsi yang mungkin terjadi pada fase awal percobaan hingga mencapai kondisi jenuh. Dengan proses ini, faktor adanya proses adsorpsi dapat diabaikan karena gas metana dialirkan secara terus menerus dalam waktu yang cukup lama.

Penurunan konsentrasi CH_4 pada setiap ketebalan lapisan hingga hari ke 30 terlihat berfluktuasi, dan selanjutnya konsentrasi CH_4 secara bertahap mulai menurun. Berdasarkan hal tersebut diperkirakan bakteri pendegradasi metan membutuhkan waktu untuk beradaptasi hingga 30 hari. Pada percobaan Albanna, dkk. (2009) *specific growth* bakteri *methanotroph* ditemukan sebesar 0,096 per hari, artinya waktu pertumbuhan bakteri yang dapat dihitung dengan persamaan $\Theta_c = 1/\mu$ adalah 10 hari, sehingga kebutuhan waktu tumbuh bakteri $3\Theta_c$ kurang lebih adalah 30 hari. Fakta dalam kepustakaan menunjukkan bahwa sebagian besar oksidasi biologi CH_4 dilakukan oleh metanotrofik (Borjesson dkk., 1998; Wilhusen dkk., 2004).

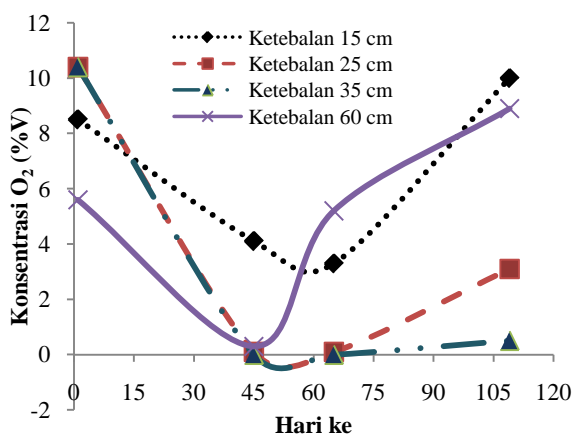
Komposisi gas pada setiap ketebalan lapisan *biocover* ditentukan untuk memperkirakan difusi vertikal *flux* metana. Ketebalan lapisan *biocover* yang diperlukan tergantung pada kebutuhan kapasitas oksidasi dan kondisi iklim (Einola, 2010). Penutup yang lebih tebal umumnya memberikan waktu retensi yang lebih panjang untuk metana, sehingga dapat meningkatkan oksidasi (Stern dkk., 2007). Pada percobaan ini, ketebalan lapisan *biocover* yang digunakan adalah 15, 25, 35 dan 60 cm. Konsentrasi CH_4 pada setiap ketebalan lapisan kompos *landfill mining* pada hari pertama belum menunjukkan penurunan. Profil vertikal konsentrasi gas sebagai fungsi ketinggian dapat dilihat pada Gambar 3.



(a)



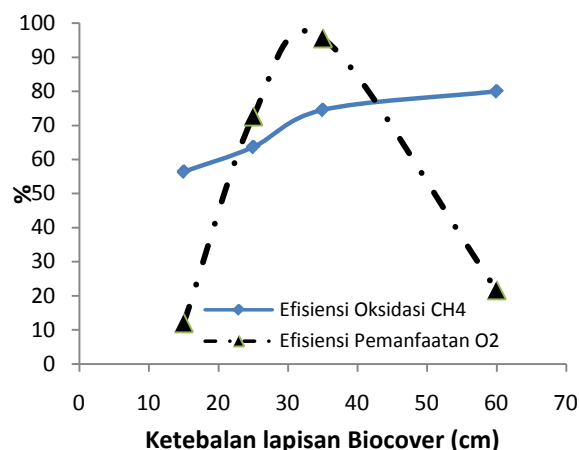
(b)



(c)

Gambar 3. Profil vertikal konsentrasi gas (a) CH₄, (b) CO₂, (c) O₂

Setelah hari ke 109, konsentrasi metana pada setiap ketebalan lapisan *biocover* menunjukkan penurunan yang cukup berarti. Hasil percobaan menunjukkan bahwa efisiensi penyisihan CH₄ dalam kolom meningkat pada setiap ketebalan lapisan *biocover* 15, 25, 35, dan 60 cm dengan masing-masing efisiensi penyisihan sebesar 56,43%, 63,69%, 74,58% dan 80,03% seperti dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Efisiensi oksidasi gas metana

Humer (2004) memperoleh reduksi sebesar 95-100% dari emisi gas metana dengan tebal lapisan penutup 120 cm kompos landfill yang dilengkapi lapisan distribusi gas, sedangkan oksidasi yang lebih rendah (68-74%) diamati terjadi pada penutup 30-40 cm dan tidak dilengkapi dengan lapisan distribusi gas.

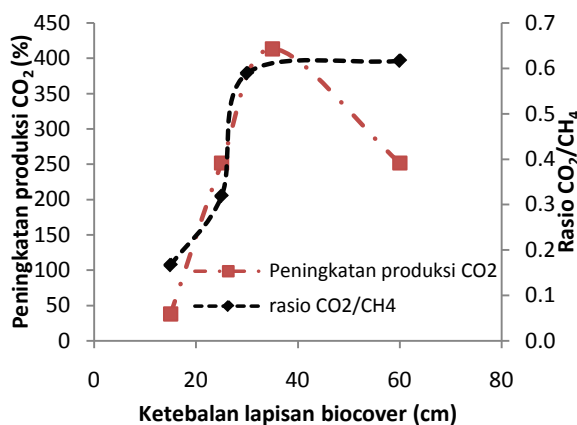
Semakin tinggi *biocover*, konsentrasi CH₄ semakin menurun. Hasil perhitungan pada hari ke 109 dengan menggunakan persamaan 1, 2, 3, dan 4 di atas diperoleh nilai *flux* metana inlet (J_{in}) sebesar 4,6 g.m⁻².hari⁻¹ (0,29 mol m⁻² hari⁻¹) dan *flux* metana yang keluar dari *biocover* (J_{out}) sebesar 0,02 g.m⁻².hari⁻¹ (1,25 x 10⁻³ mol m⁻².hari⁻¹), sehingga diperoleh laju oksidasi metana (J_{ox}) sebesar 4,6 g.m⁻².hari⁻¹ (0,29 mol m⁻² hari⁻¹) dan fraksi metana yang dioksidasi (F_{ox}) sebesar 99%. Laju oksidasi yang diperoleh ini hampir sama dengan laju oksidasi pada penelitian yang dilakukan oleh Laurila dkk. (2001) dalam Chanton dkk. (2009), yaitu sebesar 4,6-11,7 gCH₄ m⁻².hari⁻¹ dengan menggunakan metoda *micrometeorological*, dengan *cover material* antara dari tanah pada skala lapangan.

Pada hari ke 109, penurunan CH₄ ini juga ditandai dengan peningkatan konsentrasi CO₂ pada ketebalan lapisan *biocover* 15, 25 dan 35 cm, masing-masing sebesar 38 %, 252 %, dan 413%. Penurunan konsentrasi CH₄ dan peningkatan CO₂ pada reaktor menunjukkan adanya aktivitas biologi (Albanna dkk., 2007). Pada ketebalan lapisan 60 cm, peningkatan konsentrasi CO₂ sebesar 252%; ini menunjukkan adanya penurunan produksi CO₂, hal ini diperkirakan karena adanya pengenceran dari oksigen yang berasal dari bagian atas penutup reaktor kolom.

Oksigen mempunyai peranan penting dalam proses oksidasi ini. Konsumsi oksigen selama oksidasi metana tergantung pada proporsi dari metana yang dikonversi menjadi biomassa (Einola dkk., 2010). Konsentrasi O₂ pada setiap ketebalan lapisan terlihat turun pada saat terjadi penurunan konsentrasi CH₄ dan peningkatan CO₂, ini diperkirakan karena oksigen telah dimanfaatkan mikroba untuk merubah metana menjadi CO₂ dan biomassa. Penurunan konsentrasi O₂ meningkat yaitu pada ketebalan laisan 15,25 dan 35

cm dengan efisiensi penurunan masing-masing sebesar 12,04%, 72,733%, dan 95,60%, sedangkan pada ketebalan 60 cm efisiensi penurunan oksigen menurun menjadi sebesar 21,72%. Penurunan efisiensi oksigen atau peningkatan konsentrasi O_2 pada ketebalan lapisan 60 cm ini diperkirakan karena lapisan ini sangat dekat dengan penutup kolom sehingga diperkirakan ada oksigen yang masuk dari luar.

Gas dari lahan-urug biasanya tersusun dari 55-60% vol. CH_4 dan 40-45% vol CO_2 . Rasio CO_2/CH_4 bervariasi antara 0,67-0,82 karena oksidasi mikroba CH_4 di penutup landfill. Terjadi pergeseran rasio ke nilai yang lebih tinggi, karena konsumsi CH_4 yang diproduksi menjadi CO_2 (Gebert dkk., 2011). Pada percobaan reaktor kolom ini hingga hari ke 109, diperoleh rasio CO_2/CH_4 rata-rata pada ketebalan 15,25, 35 dan 60 cm berturut turut adalah sebesar 0,17, 0,31, 0,59 dan 0,62. Hal ini menunjukkan bahwa karbon yang dikonsumsi yang dikonversi menjadi CO_2 , sebesar 17%, 32%, 59% dan 62%. Hasil tersebut menunjukkan bahwa semakin tebal lapisan dan semakin besar rasio CO_2/CH_4 maka semakin besar konversi CH_4 menjadi CO_2 . Menurut Humer (2004), selama terjadi oksidasi metana, karbon dalam metana sebagian dikonversi menjadi CO_2 dan diasimilasi menjadi biomasa mikroba. Borjesson dkk. (2001) menyatakan bahwa sebagian besar metana yang dikonsumsi dikonversi menjadi biomassa bakteri dan tidak dikonversi menjadi CO_2 , khususnya ketika bakteri mempunyai laju pertumbuhan yang tinggi. Mereka menemukan ratio CO_2 ke CH_4 yaitu sebesar 0,15 hingga 0,37 untuk type I methanotrops (*ribulose monophosphate pathway*). Temuan mereka dikonfirmasi oleh penelitian lain yang menunjukkan rasio 0,16 hingga 0,4. Sekitar 15 sampai 40% karbon yang dikonsumsi dikonversi menjadi CO_2 , sementara sebagian besar tergabung menjadi biomassa. Dari fakta tersebut, terlihat bahwa rasio CO_2/CH_4 pada percobaan ini mendekati rentang rasio yang dilakukan oleh peneliti-peneliti sebelumnya. Grafik rasio CO_2/CH_4 terhadap ketebalan lapisan biocover dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Peningkatan produksi CO_2 dan rasio CO_2/CH_4

Dari hasil percobaan kolom kontinyu di atas terjadi penurunan CH_4 dan peningkatan CO_2 yang cukup signifikan, sehingga dapat disimpulkan bahwa pada reaktor kolom kontinyu dengan media kompos *landfill mining* ini telah terjadi oksidasi metana. Fakta dalam kepustakaan menunjukkan bahwa sebagian besar oksidasi biologi CH_4 dilakukan oleh metanotrofik (Wilhusen dkk., 2004). Hilger dan Humer (2003) melaporkan bahwa metanotrofik mengkonsumsi CH_4 dan mengoksidasinya menjadi CO_2 dan air untuk energy, sementara bagian lain tergabung ke dalam biomassa ($C_4H_8O_2N$). Hal tersebut memperkuat indikasi bahwa pada reaktor kolom ini terjadi oksidasi metana.

Untuk memperkuat argumen tersebut, maka dilakukan identifikasi mikroba pada kompos *landfill mining* yang dilakukan oleh Primeia (2011). Sampel biocover dicuplik dari reaktor kolom untuk diidentifikasi dengan mengisolasi sampel menggunakan dua jenis media isolasi yang berbeda, yaitu Ammonium Mineral Salt (AMS) dan Nitrate Mineral Salt (NMS). Tiga isolat bakteri yang merupakan bakteri metilotrofik dan/atau metanaotrofik yang berhasil diisolasi adalah Isolat 1S (isolat yang berasal dari media NMS + metanaol) dengan persen kemiripan 99,68% dengan *Methyloversatilis universalis* dan 99,58% dengan *uncultured bacterium clone EDW07B001*; Isolate 4S dengan persen kemiripan 95,82% dengan *Hyphomicrobium vulgare*; dan Isolat 5S dengan persen kemiripan 99,32% dengan *uncultured bacterium clone NCD938F06C1* dan 99,24% dengan *Methylobacterium lusitanum*. Selain itu terisolasi pula bakteri yang umum berada di tanah, namun bukan bakteri metilotrofik dan/atau metanotrofik yaitu isolat 2S (isolat yang berasal dari media NMS + metana) yang memiliki persentase kemiripan sebesar 78,43% dengan *Brevibacillus chosinensis*; dan isolat 3S (isolat yang berasal dari media AMS + metanaa) yang memiliki persentase kemiripan sebesar 99,18% dengan *Streptomyces phaeochromogenes* dan 99,14% dengan *Nocardioides thermolilacinus*. Berdasarkan hasil isolasi tersebut maka diketahui bahwa komunitas konsorsium bakteri dalam kompos landfill mining tersebut memiliki potensi dalam mengoksidasi gas metana menjadi karbon dioksida melalui metabolit antara berupa metanol.

KESIMPULAN

Pada percobaan kontinyu dengan menggunakan reaktor kolom yang diamati hingga hari ke 109, diperoleh hasil bahwa konsentrasi gas metana menurun, diikuti dengan peningkatan produksi CO_2 dan penurunan konsentrasi O_2 . Hal ini memberikan indikasi bahwa pada media kompos *landfill mining* telah terjadi oksidasi metana. Performa oksidasi metana pada peningkatan ketebalan lapisan biocover menunjukkan bahwa semakin tebal lapisan biocover, semakin tinggi efisiensi oksidasi metana, dan diperoleh fraksi oksidasi sebesar 99%. Hasil oksidasi

yang diperoleh tersebut diperkuat dengan identifikasi bakteri yang bekerja pada proses oksidasi metana ini. Hasil identifikasi bakteri tersebut menunjukkan adanya bakteri metananotrofik yang memiliki kemampuan dalam mengoksidasi metana melalui metabolit antara berupa metanol.

DAFTAR PUSTAKA

Abichou, T., Chanton, J., and Powelson., (2006), *Field Performance of Biocells, Biocovers and Biofilters to mitigate greenhouse gas emissions from landfills*, Florida Center for Solid Waste Management Annual Report for August 2004 to January 2006.

Abichou, T., Mahieu, K., Yuan, L., Chanton, J., and Hater, G., (2009), Effect compost biocovers on gas flow and methane oxidation in a landfill cover, *Waste Management*, 29, pp. 1595-1601.

Albanna, M. and Fernandes, L., (2009), Effect of Temperature, Moisture Content, and Fertilizer addition on Biological Methane Oxidation in Landfill Cover Soils, *Practice Periodical of Hazardous, Toxic, and Radioactive*, *Waste Management*, 13, No. 3.

Albanna, M., Fernandes, L., and Warith, M., (2007), Methane oxidation in landfill cover soil; the combined effects of moisture content, nutrient addition and cover thickness, *Journal of Environmental Engineering and Science*, 6, pp. 191-200.

Borjesson, G., (2001), Inhibition of methane oxidation by volatile sulfur compounds (CH₃SH and CS₂) in landfill cover soils, *Waste Management & Research* 2001, 19, pp. 314-319.

Borjesson, G., Chanton, J., and Svensson, B.H., (2001), Methane Oxidation in Two Swedish Landfill Covers Measured with Carbon-13 to Carbon-12 Isotope Ratios, *Journal Environ. Qual*, 30, pp. 369-376.

Borjesson, G., Sundh, I., Tunlid, A., and Svensson, B.H., (1998b), Methane oxidation in landfill cover soils, as revealed by potential oxidation measurements and phospholipid fatty acid analyses, *Soil Biology and Biochemistry*, 30 (10-11), pp. 1423-1433.

Chanton, J. and Liptay, K., (2000), Seasonal Variation in Methane Oxidation in a Landfill Cover Soil as Determined by an In Situ Stable Isotope Technique, *Global Biogeochem.Cycles* 14, pp. 51-60.

Czepiel, P.M., Mosher, B., Crill, P.M. and Harriss, R.C., (1996), Quantifying the Effect of Oxidation on Landfill Methane Emission, *Journal of Geophysical Research*, 101, pp. 16721-16729.

Einola, J., (2010), *Biotic Oxidation of Methane in Landfill in Boreal Climatic Conditions*, Academic Dissertation, at the University of Jyväskylä, Faculty of Mathematics and Science, May 2010.

Einola, J-K.M., Kettunen, RH., and Rintala, J.A., (2007), Responses of methane oxidation to temperature and water content in cover soil of boreal landfill, *Soil Biology & Biochemistry*, 39, pp. 1156-1164.

Einola, J., Sormunen, K., Lensu, A., Leiskallio, A., Ettala, M., and Rintala, J., (2009), Methane oxidation at a surface-sealed boreal landfill, *Waste Management*, 29, pp. 2105-2120.

Gebert, J., Rower U.I., Scharff H., Roncanto, D.L.C., and Cabral, R.A., (2011), Can soil gas profiles be used to assess microbial CH₄ oxidation in landfill covers?, *Waste Management*, 31, pp. 987-994.

Hilger, H. and Humer, M., (2003), Biotic landfill cover treatments for mitigating methane emissions, *Environmental Monitoring and Assessment*, 84, pp. 71-84.

Humer, M., (2004), *Abatement of Landfill Methane Emission by Microbial Oxidation in Biocover Made of Compost*, Doctoral Thesis at the University of Natural Resources and Applied life Sciences Vienna Institute of Waste Management.

Humer, M. and Lechner, P., (2001), Design of a Landfill Cover layer to Enhance Methane Oxidation – Result of two year Field Investigation, *Proceedings of SARDINIA 2001-Eighth International Waste Management and Landfill Symposium*, Vol. II, Leachate and Landfill Gas“, p. 541 f., CISA Environmental Sanitary Engineering Centre, Cagliari.

IPCC, Climate Change (2001), *The Scientific Basis: Intergovernmental Panel on Climate Change*, Cambridge University Press, Cambridge, UK.

Kurian, J., Esakku, S., Palanivelu, K., and Selvam, A., (2003), Studies on Landfill Mining at Solid Waste Dumpsites in India *Proceedings Sardinia, Ninth International Waste Management and Landfill Symposium*, S. Magheritha di Pula, Cagliari, Italy, 6-10 October 2003.

Morales, J., (2006), *Mitigation of landfill methane emissions from passive vent by use of oxidizing biofilters*, A Thesis Submitted To The Department Of Civil & Environmental Engineering In Partial Fulfillment Of The Requirement For The Degree Of Master Of Science.

Mor, S., De Visscher, A., Ravindra, K., Dahiya, R.P., Chandra, A., and Van Cleemput, O., (2006), Induction of enhance methane oxidation in compost: Temperature and moisture response, *Waste management*, 26, pp. 381-388.

Primeia, S., (2011), *Identifikasi komunitas bakteri yang berperan dalam oksidasi gas metana di dalam material penutup landfill (biocover)*, Thesis Program Magister di Institute Teknologi Bandung.

Stern, J.C., Chanton, J., Abichou, T., Powelson, D., Yuan, L., Escoriza, S., and Bogner, J., (2007), Use of biologically active cover to reduce landfill methane emission and enhance methane oxidation, *Waste Management*, 27, pp. 1248-1258.

Visvanathan, C., Pokhrel, D., Cheimchaisri, W., Hettiaratchi, J., and Wu, J., (1999), Methanotrophic Activities in Tropical Landfill Cover Soils Effects of

Temperature, Moisture Content and Methane Concentration, *Waste Management and Research*. No. 4, 17, pp. 313-323.

Wilshusen, J.H., Hettiaratchi, J.P.A., De Visscher, A., and Saint-Fort, R., (2004), Methane oxidation and formation of EPS in Compost effect of oxygen concentration, *Environmental Pollution*, 129, pp. 305-3014.