
TANAH PENUTUP *LANDFILL* MENGGUNAKAN SAMPAH LAMA SEBAGAI MEDIA OKSIDASI METANA UNTUK MENGURANGI EMISI GAS METANA

Opy Kurniasari^{1)*}, Enri Damanhuri^{2)*}, Tri Padmi^{3)*}, Edwan Kardena^{4)*}

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

²⁾³⁾⁴⁾Program Studi Teknik Lingkungan FTSL- ITB, Jl. Ganesha No. 10 Bandung

*email : opy_ksw@yahoo.com; enri.damanhuri@gmail.com; tripadmi@gmail.com;

kardena@pusat.itb.ac.id

Abstrak

Metana adalah gas alam yang dilepaskan ke atmosfer oleh proses biologi yang terjadi pada lingkungan anaerobik melalui proses metanogenesis. Metana mempunyai kekuatan 21 kali lebih besar terhadap kenaikan suhu dibandingkan CO₂ dalam periode waktu 100 tahun. *Landfill* adalah sumber kegiatan manusia terbesar yang menghasilkan metana. Salah satu cara yang sederhana dan murah untuk mengurangi gas metana dari *landfill* yang lepas ke alam adalah dengan mengoksidasi metana dengan memanfaatkan tanah penutup *landfill* sebagai media mikroorganisma pengoksidasi metana, sehingga dapat mengurangi kontribusi metana pada pemanasan global. Tujuan penelitian yaitu untuk mengidentifikasi empat jenis sampah lama (kompos *landfill mining*) dari beberapa TPA di Kota dan Kabupaten Bandung sebagai alternatif untuk tanah penutup *landfill* yang dapat mendukung oksidasi metana. Sampel yang akan diidentifikasi adalah sampah lama dari 4 (empat) TPA (Tempat Pemrosesan Akhir Sampah) yaitu TPA Jelesong, TPA Pasir Impun, TPA Leuwi Gajah dan TPA Sarimukti. Hasil identifikasi menunjukkan bahwa sampah lama dari keempat TPA mempunyai karakteristik untuk dapat menjadi alternatif tanah penutup *landfill* sebagai media yang mendukung oksidasi metana dan sampah lama dari TPA Jelesong mempunyai potensi oksidasi yang lebih besar dibandingkan dari TPA lainnya.

Kata kunci : kompos, *landfill*, metana, oksidasi, sampah lama, tanah penutup

Abstract

Methane is a natural gas that is released into the atmosphere by biological processes that occur in an anaerobic environment through a process of methanogenesis. Methane has a force 21 times greater than CO₂ on temperature rise in a period of 100 years. Landfills are the largest source of human activities that produce methane gas. One simple and inexpensive way to reduce landfill methane escape into nature is to oxidize methane by utilizing landfill cover material (Biocover) as methane-oxidizing microorganisms media, so as to reduce the contribution of methane to global warming. The purpose of this study is to identify four types of compost landfill mining from a landfill in Bandung City and County as an alternative to land and fill cover soil that can support the oxidation of methane. Samples to be identified are age refuse (compost landfill mining) from four a landfill is Jelesong landfill, Pasir Impun landfill, Leuwi Gajah landfill and Sarimukti landfill. Expected results of this study as a first step for further studies of methane oxidation and contribute to the scientific knowledge in an effort to reduce methane gas from landfills. Identification results showed that age refuse of four characteristics that can be used as an alternative landfill cover soil as a medium that supports the oxidation of methane and age refuse from the landfill Jelesong have a greater oxidation potential than other age refuse from the landfill.

Keywords: compost, landfill, methane, oxidation, age refuse, cover soil

1. Pendahuluan

Kegiatan manusia diperkirakan mengeluarkan emisi gas metana (CH_4) sekitar 60%. Sumber gas metana berasal dari pertanian, peternakan sapi, *landfill*, emisi pembuangan limbah, dan produksi gas alam. Gas metana yang terlepas ke atmosfer akan berkontribusi pada pemanasan global 23 kali lebih efektif dalam menyerap panas dari pada CO_2 (IPCC, 2001).

Landfill merupakan sumber CH_4 terbesar di atmosfer yang berkontribusi pada perubahan iklim (Bogner dkk., 2007). Emisi CH_4 dari *landfill* adalah peringkat ke 3 diantara sumber CH_4 antropogenik dan berkisar antara 19- 40 Tg/tahun (IPCC, 2007). Sebagian besar emisi ini disebabkan oleh tidak mencukupinya sistem pengumpulan gas pada *landfill* terutama pada *landfill* dengan sistem *open dumping*. Ekstraksi gas dari *landfill* yang sangat kecil dan sudah lama dengan laju CH_4 kecil secara ekonomi tidak menguntungkan (Mor, 2006). Alternatif gas *landfill* dengan ekstraksi dan dimanfaatkan sebagai energi serta bahan bakar memungkinkan, tetapi untuk lokasi *landfill* yang besar dan membutuhkan biaya yang relatif tinggi (Albannaet al., 2007). Metoda penting dan efektif untuk mereduksi gas metana di *landfill* adalah dengan menggunakan penutup reaktif secara biologi sebagai media oksidasi metana (Albannaet al., 2007). Ada beberapa keuntungan dengan menggunakan metoda ini yaitu : dapat melengkapi efisiensi sistem pengumpulan gas *landfill*, dan juga dapat menjadi pilihan alternatif untuk remediasi lokasi *landfill* yang lebih kecil, *open dumping*, dan *landfill* tua setelah penutupan lokasi (Albannaet al., 2007) dan pada tanah penutup dapat mengandung bermacam-macam grup mikroorganisme yang mampu mengoksidasi CH_4 , seperti bakteri metanotrofik (Hilger and Humer, 2003 dalam Albannaet al., 2007).

Proses oksidasi gas metana adalah sebuah proses yang mengubah gas metana menjadi air, karbondioksida, dan biomassa. Proses oksidasi metana tergantung pada beberapa faktor seperti adanya mikroorganisme metanotrofik, ketersediaan oksigen dan metana, media yang memiliki cukup nutrisi sebagai sarana pendukung pertumbuhan mikroorganisme, dan tingkat kelembaban yang cukup pada media. Temperatur optimal untuk oksidasi gas metana berkisar antara 25°C hingga 35°C, (Parket al., 2009), artinya oksidasi gas metana cukup baik untuk kondisi Indonesia.

Di Indonesia permasalahan TPA yaitu, pada umumnya dioperasikan secara *opendumping*, karena *open dumping* dilakukan lapis per lapis sehingga dapat menyebabkan terjadinya proses anaerob yang menghasilkan gas metana. Selain itu sulitnya mencari lahan TPA dan tanah penutup menjadi kendala, sementara TPA yang sudah lama dan dibiarkan begitu saja cukup banyak. Dalam upaya mengurangi emisi gas metana dari *landfill* dapat dilakukan dengan menggunakan tanah penutup *landfill* (*biocover*) yang berasal dari sampah lama yang berada di TPA yang disebut kompos *landfill mining* atau sampah yang terdegradasi secara alami. Kurianet al. (2003) menyatakan bahwa sampah yang dioperasikan secara *open dumping* dan sudah cukup lama menumpuk dapat dimanfaatkan dan dijadikan kompos *landfill mining* dengan melakukan serangkaian kegiatan seperti penggalian (*Excavation*), proses pencacahan, penyaringan dan reuse material. Kompos merupakan media yang dapat digunakan sebagai lapisan penutup tanah *landfill*, oleh karena itu pada material ini diharapkan bisa terjadi oksidasi metana secara biologi lebih baik daripada tanah biasa (Barlaz et al., 2004).

Kompos diharapkan dapat menjadi media oksidasi metana yang baik, karena karakteristik kompos diperkirakan dapat mendukung pertumbuhan bakteri pendegradasi metana. Selain itu juga kompos dapat dimanfaatkan sebagai upaya perbaikan lokasi pembuangan dan memanfaatkan ruang untuk pembuangan selanjutnya serta mengurangi sumber potensial pencemaran.

Sebagai tanah penutup *landfill*, kompos *landfill mining* tidak memerlukan biaya ekstra untuk transportasi tanah dari tempat lain. Sehingga merupakan pilihan yang murah dan efektif untuk mereduksi emisi dari *landfill* kecil dan tua dengan jumlah metana yang dihasilkan rendah (Moret al., 2006).

Untuk mengurangi permasalahan yang ada di TPA maka penggunaan sampah lama sebagai tanah penutup *landfill* untuk mendukung oksidasi metana dapat menjadi alternatif namun sebelumnya diperlukan identifikasi karakteristik dari media tersebut. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengidentifikasi 4 (empat) sampah lama (kompos *landfill mining*) dari beberapa TPA di Kota dan Kabupaten Bandung sebagai alternatif untuk tanah penutup *landfill* yang dapat mendukung oksidasi metana. Hasil identifikasi ini diharapkan sebagai

langkah awal untuk penelitian oksidasi metana selanjutnya dan berkontribusi pada wawasan ilmu pengetahuan dalam upaya mengurangi gas metana dari *landfill*.

2. Metodologi

Pada studi ini tanah penutup *landfill* yang digunakan adalah sampah lama dari timbunan di Tempat Pemrosesan Akhir Sampah (TPA) setelah sampah ditimbun selama kurang lebih 7-11 tahun (kompos *landfill mining*) yang diambil dari beberapa TPA yaitu TPA Jelekong Kabupaten Bandung, TPA Pasir Impun Kota Bandung, TPA Leuwi Gajah Kota Cimahi dan TPA Sarimukti Kabupaten Bandung Barat. Sampel diambil dengan cara menggali timbunan sampah tersebut pada kedalaman kurang lebih 2 m. Kompos *landfill mining* disaring lalu disimpan di lemari pendingin hingga digunakan.

Untuk mengetahui karakteristik media oksidasi maka dilakukan analisis fisik, analisis saringan, analisis logam berat dan analisis kimia. Metode Analisis untuk kadar air dan kadar volatil dalam media dilakukan berdasarkan ASTM D2216-8, pada pengukuran ini dilakukan pengukuran media pada awal dan akhir setelah pemanasan media di oven pada suhu 105° C. Analisis pH dilakukan dengan menggunakan pH meter dan soil tester Model DM-5. Analisis fosfat dilakukan menggunakan metode Spektro Fotometri. Analisis Nitrogen Total menggunakan Metode Mikro Kjeldahl, pada pengukuran ini dilakukan destilasi serta titrasi dengan menggunakan HCl dan analisis C-Organik menggunakan metode Tanur. Untuk analisis logam berat dilakukan dengan menggunakan AAS (Atomic Absorption Spectroscopy). Untuk mengetahui tekstur tanah dilakukan analisis saringan yaitu penentuan presentase berat butiran agregat yang lolos dari satu set saringan kemudian angka-angka presentase digambarkan pada grafik pembagian butir.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Karakteristik Fisik

Oksidasi metana pada *biocover* dipengaruhi oleh beberapa variabel lingkungan seperti temperatur dan presipitasi, tetapi karakteristik material *biocover* juga sangat penting. Salah satu faktor utamanya adalah karakteristik fisik, yang menjamin bahwa gas *landfill* dan O₂ dapat masuk ke material

biocover, sebagian besar aliran gas *landfill* dengan *advective* dan sebagian besar O₂ dengan difusi (Pedersen, 2010). Karakteristik fisik dari media yang digunakan tersebut dapat dilihat pada tabel 1.

Kadar air merupakan salah satu variabel lingkungan yang paling penting kedua setelah temperatur (Zeiss C.A., 2006). Kompos memiliki kapasitas yang besar dalam mempertahankan kelembaban dan menjaga kondisi media dengan kadar air tinggi. Kadar air optimum untuk laju oksidasi terbesar adalah 10 – 15% (Park et al., 2009) dan 21 – 28% (Einola et al., 2007). Berdasarkan hasil analisis karakteristik kimia pada 4 (empat) media kompos *landfill mining*, kadar air terbesar adalah kompos dari TPA Jelekong sebesar 65,22 %, diikuti dengan kompos dari TPA Leuwi Gajah. Untuk kompos TPA Pasir Impun dan TPA Sarimukti juga mempunyai kadar air yang tinggi jika dibandingkan dengan tanah biasa yang digunakan sebagai tanah penutup di TPA Sarimukti pada saat ini yaitu sebesar 30,56% (Kurniasari, 2010). Beberapa penelitian menunjukkan bahwa semakin tinggi kelembaban media maka semakin tinggi pula aktivitas oksidasi metana yang dapat dicapai. Akan tetapi penurunan aktivitas oksidasi juga dapat terjadi apabila kadar air terlalu tinggi, hal ini terjadi akibat dipenuhinya pori-pori media oleh air (akumulasi air) yang menghambat aliran gas yang masuk (Albanna et al., 2007). Kelembaban tanah juga berperan sebagai lapisan air yang melindungi dari konsentrasi metana yang ekstrim dan sebagai sarana angkut oksigen dan metana ke dalam sel metanotrofik (Zeiss C.A., 2006).

Salah satu syarat tanah penutup aktif (*biocover*) yang baik adalah yang memiliki porositas cukup untuk transportasi oksigen. Berdasarkan hasil analisis didapat nilai-nilai porositas media untuk kompos *landfill mining* dari 4 (empat) TPA, nilai porositas pada kompos *landfill mining* cukup tinggi bila dibandingkan dengan porositas pada tanah biasa, porositas tanah dengan jenis *clay* 0,451, *clay silt* 0,452 dan *clay sand* 0,400 (Schroeder et al., 1994 dalam Zeiss, 2006) dan nilai porositas tertinggi pada penelitian ini berasal dari TPA Jelekong sebesar 0,67. Pada media dengan porositas tinggi oksidasi metana yang terjadi lebih baik, karena porositas yang tinggi dapat menahan gas dalam media lebih lama (Abichou T., 2009).

Untuk mengetahui tekstur tanah dari sampel kompos *landfill mining* tersebut maka dilakukan analisis saringan pada ke empat media yang hasilnya

Tabel 1. Analisis Karakteristik Fisik Kompos *Landfill Mining*

Tekstur Tanah	TPA Jelekong	TPA Pasir Impun	TPA Leuwi Gajah	TPA Sarimukti
Kadar Air (%)	65,22	39,23	63,56	53,38
Kadar Volatil (%)	26,3	15,63	23,13	21,11
Densitas basah (t/m ³)	1,31	1,57	1,36	1,48
Densitas kering (t/m ³)	0,79	1,13	0,83	0,97
Porositas (n)	0,67	0,56	0,63	0,59
Permeabilitas (cm/det)	5,108.10 ⁻⁵	9,9191.10 ⁻⁵	2,523.10 ⁻⁵	1,553.10 ⁻⁵
Sand (Pasir) (%)	55,77	52	62	53
Silt (Lanau) (%)	32,38	35	23	37
Clay (lempung) (%)	3,02	0	0	0

dapat dilihat pada tabel 1, hasil analisis saringan selanjutnya di analisis berdasarkan diagram trilinear yaitu segitiga yang dikeluarkan oleh Departemen Agrikultur USA untuk memberi nama relativitas tekstur tanah (Cookson, 1995).

Hasil analisis dari diagram trilinear, keempat sampel kompos *landfill mining* berada pada daerah *sandy loam*. Tekstur tanah, ukuran partikel dan konsentrasi gas mempengaruhi konsumsi CH₄ oleh mikroba. Peneliti oksidasi metana yang menggunakan tanah penutup dengan tekstur *sandy loam* diantaranya adalah Abichou, 2006; Borjesson, 2001, dan Scheutz, 2009. Hasil oksidasi metana yang diperoleh berdasarkan tekstur tersebut cukup signifikan karena besarnya persentase *sand* dan *silt*, maka sampel memiliki porositas yang cukup besar dan mudah menyerap air. Keadaan dengan porositas yang besar ini sangat baik bagi distribusi fase cair dan gas di dalamnya. Berdasarkan tekstur yang dimiliki tersebut diharapkan pada kompos *landfill mining* mempunyai distribusi nutrisi terlarut dan gas (oksigen dan metana) yang mudah dimanfaatkan oleh bakteri indigen dan mempercepat proses degradasi gas metana di dalamnya.

Umumnya, substrat kaya bahan organik meningkatkan laju oksidasi metana yang tinggi. Tapi tidak hanya suplai nutrisi yang ditentukan oleh kandungan organik, selain itu, sifat fisik seperti porositas substrat dan struktur juga berpengaruh. Tekstur tanah, volume pori, dan ukuran partikel mempengaruhi konsumsi metana, dengan laju yang lebih tinggi terjadi pada substrat kasar.

Komposisi tanah merupakan parameter penting karena tekstur tanah dan ukuran butir mempengaruhi difusi oksigen ke tanah penutup TPA (Stern *et al.*

2007). Pawlowska *et al.* (2003) menemukan kapasitas oksidasi sedikit lebih tinggi dalam pasir kasar dibandingkan dengan kerikil kasar. Dalam hal ini, ukuran butir kerikil jelastidak memberikan luas permukaan spesifik yang cukup untuk metanotrofik.

3.2. Karakteristik Kimia

Beberapa parameter kimia di analisis untuk mengetahui karakteristik media, yang merupakan parameter penting untuk oksidasi CH₄, seperti disajikan pada tabel 2.

Untuk proses oksidasi metana pH optimal untuk pertumbuhan metanotrofik adalah antara 6 dan 8 (Heijmans *et al.*, 2007). Penelitian lain menyatakan bahwa ada beberapa metanotrofik yang toleran terhadap nilai pH rendah turun hingga 3 atau lebih (Zeiss C.A., 2006). Hasil studi pengukuran pH pada keempat kompos *landfill mining* mempunyai nilai pH lebih dari 7. Nilai pH ini berpengaruh pada aktivitas enzim yang mengawali oksidasi metana dan aktivitas mikroorganisme. Hasil menunjukkan bahwa kondisi pH pada keempat media masih memenuhi persyaratan pH optimum untuk terjadinya oksidasi metana dan pertumbuhan mikroorganisme pada media oksidasi.

Bakteri Metanotrofik memerlukan nutrisi untuk metabolisme sel dan kinetika metabolik, disamping substrat karbon yang diberikan oleh CH₄. Hasil analisis pada kompos *landfill mining* dari TPA Jelekong dan TPA Leuwi Gajah mempunyai rasio C:N cukup tinggi yaitu masing-masing 23 dan 29, nilai ini lebih besar dari rasio C:N yang direkomendasikan oleh Huber-Humer *et al.*, 2008 dalam kompos yang digunakan untuk biofiltrasi metana yaitu sebesar 14. Rasio C:N dari substrat mempunyai dampak yang

Tabel 2. Analisis Karakteristik Kimia Kompos *Landfill Mining*

Parameter	TPA Jelekong	TPA Pasir Impun	TPA Leuwi Gajah	TPA Sarimukti
pH	7,29	7,70	7,61	7,67
C-organik (%)	10,86	5,42	9,27	4,18
Nitrogen Total (%)	0,46	0,65	0,32	0,46
P ₂ O ₅ (%)	0,67	0,96	0,49	0,45
C:N	23	8	29	9
Cu (ppm)	7,00725	12,1166	12,3735	12,2879
Cr (ppm)	1,65529	3,1280	3,7935	4,5102
Zn (ppm)	9,74202	4,4761	4,2712	4,6744
Pb (ppm)	4,76249	14,1736	15,2153	14,9236
Cd (ppm)	0	0,2755	0,4057	0,3201

perlu dipertimbangkan pada oksidasi metana (De Visher, 2001). Kompos diketahui mempunyai kapasitas CH₄ lebih tinggi karena bahan organik, kapasitas menahan air dan porositas (Hilger & Humer, 2003). Oleh karena itu keterbatasan nutrisi selama oksidasi metana kemungkinan tidak akan menjadi faktor pembatas dalam kompos yang kaya organik bahkan dalam waktu yang lama. (10 hingga 20 tahun). Kandungan organik tanah tinggi umumnya meningkatkan laju oksidasi (Christophersen *et al.*, 2004) dan meningkatkan kandungan kelembaban tanah optimal (%). Nutrien dibutuhkan mikroorganisme untuk bertumbuh. Nutrien ini dibutuhkan sebagai unsur pokok materi sel dan juga diperlukan untuk aktivitas enzim dan sistem transportasi. Tanah dengan kandungan organik 1-10% menunjukkan kecepatan oksidasi standar, tanah dengan kandungan organik tinggi menunjukkan potensi oksidasi 10 sampai 100 kali lipat. Media dengan kandungan organik tinggi biasanya memiliki porositas dan kelembaban yang tinggi, sehingga mendukung kecepatan oksidasi dalam media (Zeiss C.A., 2006). Ada korelasi yang kuat bahwa semakin banyak kandungan organik tanah dan oksigen, maka jumlah dan jenis mikroorganisme juga semakin tinggi (Notodarmojo, 2005). Laju oksidasi metana meningkat dari $3,3 \pm 0,96 \mu\text{g CH}_4 \text{ jam}^{-1} \text{g}^{-1} \text{dry soil}$ tanpa nutrisi menjadi $8,1 \pm 1,7 \mu\text{g CH}_4 \text{ jam}^{-1} \text{g}^{-1} \text{dry soil}$ ketika ditambahkan pupuk sebagai tambahan sumber nutrisi untuk sampel *clay silt soil* (Albanna & Fernandes, 2009). Hal ini menunjukkan bahwa seharusnya oksidasi metana pada kompos *landfill mining* terjadi lebih tinggi dibandingkan dengan tanah biasa.

Selanjutnya kandungan logam berat pada sampel di analisis, banyaknya sampel tanah untuk analisis logam berat adalah 3 gr/100 ml. Dari hasil analisis logam berat pada kompos *landfill mining* terdapat kandungan Cu, Cr, Zn dan Pb. Pada kompos *landfill mining* terdapat kandungan logam berat karena kompos *landfill mining* berasal dari TPA dengan sampah yang berasal dari berbagai sumber seperti; sampah rumah tangga, pasar, komersial dan lain sebagainya yang tidak dipilah sehingga dimungkinkan mengandung logam berat. Hasil studi menunjukkan parameter Cu dan Pb mempunyai kandungan yang lebih tinggi dibandingkan parameter lainnya. Pada penelitian Lee *et al.* (2009), penambahan Cu mempunyai sedikit efek *stimulatory* pada oksidasi metana dan ternyata menghambat oksidasi metana pada penambahan 250 mg/kg soil Cu. Peningkatan jumlah Cu yang ditambahkan selanjutnya tidak memberi penurunan yang signifikan pada oksidasi metana.

4. Simpulan dan Saran

Hasil identifikasi pada studi ini menunjukkan bahwa kompos *landfill mining* dari keempat TPA mempunyai karakteristik fisik dan kimia yang baik untuk alternatif tanah penutup *landfill* sebagai media yang mendukung oksidasi metana. Dan kompos *landfill mining* dari TPA Jelekong mempunyai potensi oksidasi yang lebih besar dibandingkan dengan kompos *landfill mining* dari TPA lainnya. Studi selanjutnya perlu dilakukan studi potensi oksidasi metana pada kompos *landfill mining* menggunakan gas metana.

Daftar Pustaka

- Abichou, T., Mahieu, K., Yuan L., Chanton, J., Hater G. 2009. "Effect compost biocovers on gas flow and methane oxidation in a landfill cover". *Waste Management*, 29.1595-1601.
- Albanna M, Leta Fernandes, and Mostafa Warith. 2007. "Methane oxidation in landfill cover soil; the combined effects of moisture content, nutrient addition and cover thickness J". *Environ. Eng. Sci* 6.191-200(2007).
- Albanna, M., and Fernandes, L. 2009. "Effect of Temperatur, 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.
- Bogner, J., Abdelrafie Ahmed, M., Diaz, C., Faaij, A., Gao, Q., Hashimoto, S., Mareckova, K., Pipatti, R., Zhang, T., 2007.. In: Metz, B., Davidson, O.R., Bosch, P.R., Dave, R., Meyer, L.A., (Eds.), *Climate Change 2007: Mitigation. Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA. *Waste management*
- Cookson, Jr, J.T. (1995) : *Bioremediation engineering: design and Application USA*. McGraw-Hill Inc.
- Christophersen, M., Linderoed, L., Jensen, P., & Kjeldsen, P. 2004. "Methane oxidation at lowtemperatures in soil exposed to landfill gas". *J. Environ. Qual.*, 29.1989–1997.
- De Visscher, A. (2001): *Modelling of diffusion and reaction of CH₄ and N₂O in soils*, Doctoral Thesis, University Gent, Faculty of Agricultural and Applied Biological Sciences, June 2001.
- Einola, J-K M., Kettunen, RH., Rintala, J.A. 2007."Responses of methane oxidation to temperature and water content in cover soil of boreal landfill". *Soil Biology & Biochemistry*, 39.1156-1164.
- Heijmans, A. Pol., Harhangi, H.R., Tedesco, D., Jetten, M.S., and Op den Camp H.J."Methanotrophy below pH 1 by a new Verrucomicrobia species". *Nature*. 2007, 450: 874-878
- Hilger, H., and Humer, M. 2003."Biotic landfill cover treatments for mitigating methane emissions". *Environmental Monitoring and Assessment*, 84.71-84.
- Huber-Humer, M., Gebert, J., Hilger, H. 2008 "Biotic system to mitigate landfill methane emission ". *Waste Manage, Res.* 26. 33-46
- IPCC."Climate Change 2001: The Scientific Basis: *Intergovernmental Panel on Climate Change* Cambridge University Press, Cambridge, UK.
- IPCC. 2007. Intergovernmental Panel on Climate Change, *Climate Change 2007: Introduction*. Cambridge University Press, Cambridge, UK.
- Kurian ,J., S. Esakku, K. Palanivelu and A.Selvam.2003." *Studies on Landfill Mining at Solid Waste Dumpsites in India*".Proceedings Sardinia 2003, Ninth International Waste Management and Landfill Symposium S. Magheritha di Pula, Cagliari, Italy; 6 – 10 October 2003.
- Kurniasari, Opy. 2010. "Oksidasi Metana pada Biocover Landfill untuk Mengurangi Emisi Gas Metana". Proceeding Seminar Nasional FALTL. Teknik Lingkungan Trisakti. Jakarta.
- Lee, S-W., Im Jeongdae., DiSpirit Alan A. o., Bodrossy, L., Barcelona, M.I.J., Semrau, J.D. 2009. "Effect of nutrient and selective inhibitor amendments of methane oxidation, nitrous oxide production, and key gene presence and expression in landfill cover soil: Characteristization of the role of methanotrophs, nitrifiers, and denitrifiers." *Applied Microbial Biotechnology*, DOI 10.1007/s00253-009-2238-7.
- Mor, S., Alex De Visscher, Khaiwal Ravindra, R.P. Dahiya, A. Chandra, Oswald Van Cleemput. 2006."Induction of enhance methane oxidation in compost: Temperature and moisture response". *Waste management*, 26.381-388.
- Notodarmojo, S. 2005. *Pencemaran Tanah dan Air Tanah*. Penerbit ITB. Bandung
- Park, S., Lee, C.H., Ryu, C.R. & Sung, K.J. 2009."Biofiltration for reducing methaneemissions from modern sanitary

- landfills at the lowmethane generation stage". *Water Air and Soil Pollution*, 196. 19–27.
- Pedersen, B.G 2010."Processes in a Compost Based Landfill Biocover; Methane Emission, Transport and Oxidation, PhD Thesis at the Departement of Environmental Engineering Technical University of Denmark
- Scheutz, C., Kjeldsen, P., Bogner, JE., De Vissher A., Gebert, J., Hilger, HA., Huber-Humer M., and Spokas, K. 2009."Microbial methane oxidation processes and technologies for mitigation of landfill gas emissions." *Waste Management & Research*, 27.409-4055.
- Zeiss, C.A. (2006)."Accelerated methane oxidation cover system to reduce greenhouse gas emissions from MSW landfills in cold, Semi-Arid Regions *EBA Engineering-Research*.