Potensi Penurunan Emisi Gas Rumah Kaca melalui Pengomposan Sampah di Wilayah Jabotabek

Suprihatin, Nastiti Siswi Indrasti, Muhammad Romli
Departemen Teknologi Industri Pertanian, Fakultas Teknologi Pertanian IPB

ABSTRAK

Gas metana (CH_4) berkontribusi terhadap efek gas rumah kaca sekitar 15-20 persen. Salah satu sumber emisi gas metana adalah dekomposisi anaerobik bahan organik sampah di lokasi pembuangan sampah (TPA). Salah satu alternatif untuk mengendalikan emisi gas metana dari TPA adalah pengomposan. Tujuan penelitian adalah untuk mengkuantifikasi potensi kontribusi pengomposan sampah dalam penurunan emisi gas rumah kaca, dan memberi ilustrasi potensi kontribusi terhadap reduksi emisi yang dinyatakan dalam nilai rupiah per ton kompos yang diproduksi. Studi ini difokuskan di wilayah Jabotabek, dimana sampah banyak diproduksi. Dalam studi ini dilakukan survai untuk mengumpulkan data jumlah penduduk, produksi dan karakteristik sampah, serta praktik pengelolaan sampah. Data dan informasi sekunder juga dikupulkan dari pustaka yang relevan. Simulasi dilakukan untuk menentukan nilai reduksi emisi pada berbagai skenario. Pendekatan necara masa merupakan metode utama untuk menanalisis potensi reduksi emisi metana. Hasil studi ini mengindikasikan bahwa setiap tahun sekitar 5 juta ton atau 25 juta m^3 sampah dihasilkan di wilayah Jabotabek, dan sekitar 60-80 persen dikumpulkan dari rumah tangga dan diangkut dan ditimbun di TPA. Dengan asumsi bahwa laju produksi rata-rata gas metana adalah 235 L per kg sampah dan 80 persen sampah ditimbun di TPA, sebanyak 0,5 juta ton metana (setara 12,8 juta ton CO_2) dihasilkan dari TPA. Dengan memproduksi satu ton kompos dari sampah, emisi 0,2-0,3 ton metana (setara 5-7 ton CO_2) dapat dicegah. Dengan harga reduksi emisi US$ 5-20,- per ton C, laju produksi kompos sebanyak 100.000 ton per tahun dapat menghasilkan US$ 0,7 – 2,9 juta/tahun, yang dapat digunakan sebagai sumber dana untuk menjamin kesinambungan pengelolaan sampah yang baik (*sustainable municipal solids waste management*).

Kata kunci: *gas rumah kaca, metana, sampah, kompos, reduksi emisi, TPA*

1. PENDAHULUAN

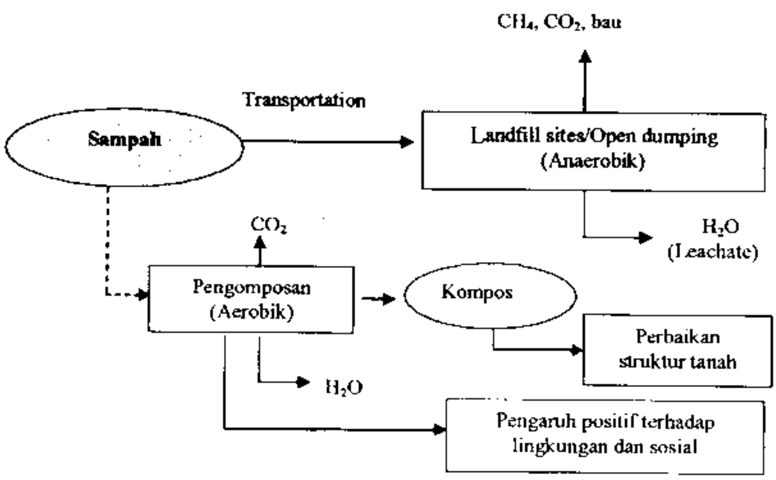
Gas rumah kaca (GRK) adalah istilah kolektif untuk gas-gas yang memiliki efek rumah kaca, seperti klorofluorokarbon (CFC), karbon dioksida (CO_2), metana (CH_4), nitrogen oksida (NO_x), ozon (O_3) dan uap air (H_2O). Beberapa gas tersebut memiliki efek rumah kaca lebih besar daripada gas lainnya. Sebagai contoh, metana memiliki efek 20-30 kali lebih besar dibanding dengan karbon dioksida, dan CFC diperkirakan memiliki efek rumah kaca 1000 kali lebih kuat dibanding dengan karbon dioksida (Porteous, 1992). Kontribusi relatif terhadap efek rumah kaca masing-masing gas tersebut di atas disajikan pada Tabel 1. Seperti terlihat pada tabel tersebut, metana berkontribusi 15-20 persen terhadap efek rumah kaca, dan oleh karena itu pengaruh ini tidak dapat diabaikan. Sumber-sumber metana mencakup lahan persawahan, peternakan sapi, industri minyak dan gas, serta tempat-tempat pembuangan sampah (TPA). Karena besarnya efek rumah kaca gas metana, usaha-usaha penanggulangannya seharusnya diarahkan kepada pengendalian sumber-sumber emisi metana tersebut.

Tabel 1. Gas rumah kaca penting, sumber dan kontribusinya terhadap peningkatan efek rumah kaca

Senyawa	**Sumber**	**Kontribusi Relatif terhadap Efek Gas Rumah Kaca (dalam persen)**	
		Hanks (1996)	**Porteous (1992)**
CO_2	Pembakaran bahan bakar fosil, penebangan hutan	60	50
CH_4	Sapi, dekomposisi sampah (landfill), lahan persawahan	15	20
NO_x	Industri, pupuk	5	5 (mencakup uap air)
CFC	AC, refrigerator, busa aerosol	12	15
O_3	Konversi polutan otomobil oleh sinar matahari	8	10

Pengomposan merupakan alternatif pemecahan masalah lingkungan. Pada kondisi optimum, pengomposan dapat mereduksi volume sampah sebesar 50-70 %. Sebagai ilustrasi, 1000 ton sampah dapat dikonversi menjadi 400-500 kompos yang siap untuk digunakan/dipasarkan. Keuntungan pengomposan sampah dibanding dengan landfill / open dumping dapat dilihat pada Gambar 1.

Protokol Kyoto menawarkan tiga mekanisme pengurangan perubahan iklim global, yaitu dalam bentuk *Joint Implementation (JI)*, *Clean Development Mechanism (CDM)*, dan *International Emissions Trade (IET)*. Ketiga mekanisme tersebut didasarkan pada prinsip bahwa emisi dapat diperdagangkan dalam bentuk penurunan emisi (*Emissions Reduction/ER*). Dalam konteks ini, pengomposan dapat dianggap sebagai cara untuk mengimplementasikan CDM dalam penurunan produksi metana dari tempat pembuangan sampah.



Gambar 1. Keuntungan pengomposan relatif terhadap landfill/open dumping

Tujuan studi ini adalah untuk mengkuantifikasi potensi kontribusi pengomposan sampah dalam penurunan emisi gas rumah kaca, dan untuk mengilustrasikan kontribusi pengomposan sampah terhadap penurunan emisi (ER) yang dinyatakan dalam nilai uang per ton kompos yang dihasilkan pada berbagai skenario.

2. METODOLOGI RISET

Studi ini difokuskan pada wilayah padat penduduk Jabotabek (Jakarta, Bogor, Tangerang, dan Bekasi), dimana sampah dihasilkan dalam jumlah besar. Dalam pelaksanaan studi ini, dilakukan survai untuk mengumpulkan data jumlah penduduk, produksi sampah, dan manajemen sampah di masing-masing daerah tersebut. Survai dilakukan selama bulan Maret – Juni 2002. Data dan informasi sekunder dikumpulkan dari hasil studi terdahulu / literatur yang relevan. Simulasi dilakukan untuk menentukan nilai ER pada berbagai skenario. Prinsip neraca massa digunakan sebagai metode utama dalam analisis potensi reduksi emisi metana.

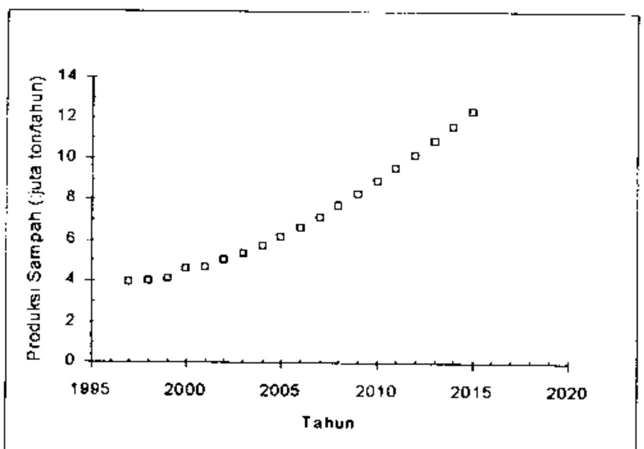
Potensi reduksi metana diestimasi berdasarkan pada neraca massa dan stoikiometri reaksi konversi fraksi bahan organik sampah menjadi metana. Hasil estimasi ini kemudian dikonversi ke dalam bentuk karbon atau karbon dioksida ekuivalen untuk menghitung penurunan emisi gas rumah kaca. Simulasi dalam berbagai selang waktu (*time series*) dilakukan untuk menentukan nilai uang ER pada berbagai persentase sampah yang dibuang ke landfill/TPA, tingkat produksi kompos, dan harga penurunan emisi.

3. HASIL DAN DISKUSI

3.1. Jumlah dan Karakteristik Sampah

Volume produksi sampah dapat diperkirakan dari jumlah penduduk dan produksi sampah spesifik. Dari studi ini teridentifikasi bahwa rata-rata produksi sampah spesifik di Jabotabek adalah 0,6 kg/orang.hari atau 214 kg/orang.tahun. Hampir separuh sampah (40-50 %) diproduksi di Jakarta, walaupun area untuk pembuangan sampahnya sangat terbatas. Dengan menggunakan teknik estimasi runtun waktu berdasarkan pada data tahun 1997-2001 diperoleh hasil perkiraan produksi sampah seperti disajikan pada Gambar 2.

Porsi bahan organik dalam sampah di wilayah studi sangat tinggi, yaitu mencapai 60-65 %. Bahan "anorganik" mencakup kertas, kayu, karet, plastik, logam dan gelas. Kandungan kertas dan plastik mencapai 20 % dari limbah tersebut. Variasi komposisi sampah mungkin terjadi terutama karena kondisi sosial, tingkat pendapatan perkapita, tingkat urbanisasi dan industrialisasi, pola makan, dan iklim.



Gambar 2. Estimasi produksi sampah in Wilayah Jabotabek

3.2. Estimasi Emisi Metana di TPA

Di TPA, bahan organik terdekomposisi secara anaerobik menjadi metana (CH_4), karbon dioxida (CO_2), dan sejumlah kecil N_2, H_2, H_2S, H_2O (Morissoy and John, 1998). Dalam kondisi aerobik (reaksi yang terjadi pada proses pengomposan), tidak dihasilkan metana. Sebaliknya, pada kondisi anaerobik (reaksi yang terjadi di dalam landfill), bahan organik dikonversi menjadi metana. Produksi karbon dioksida adalah sama untuk kedua kasus tersebut.

Saat ini belum banyak penelitian yang mendalam tentang reaksi perombakan sampah. Suatu model dari percobaan menggunakan *sludge* sering digunakan untuk men-duga produksi gas (ATV, 1989):

$$G_e = 1.868 \cdot C_o \cdot (0,014 \cdot T + 0,28)$$

dengan G_e = volume gas yang terbentuk (m^3), C_o = karbon organik (kg/t sampah, tipikal 200 kg/t), dan T = temperatur (°C, tipikal 40 °C untuk kondisi landfill).

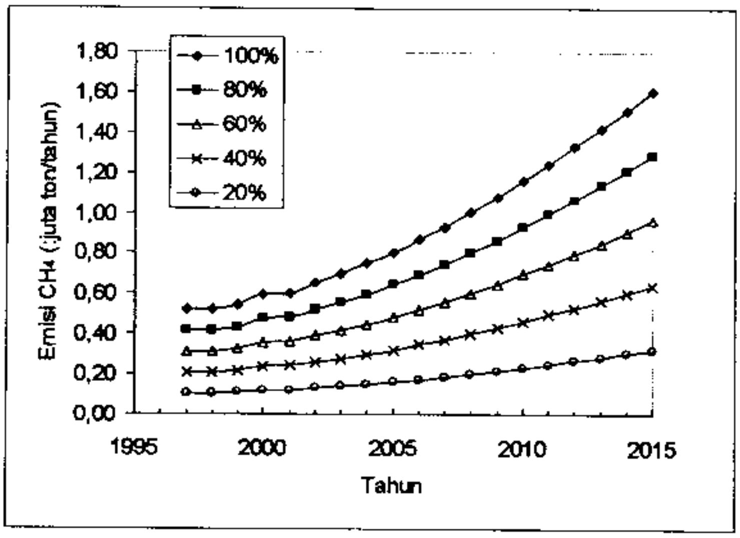
Estimasi pembentukan gas sebagai fungsi dari waktu sering dilakukan dengan bantuan model matematis. Karena struktur landfill tidak homogen, model seperti ini hanya merupakan dasar matematis. Model matematis berikut dipercaya dan cukup handal untuk keperluan praktis (ATV, 1989):

$$G_t = G_e(1 - 10^{-k \cdot t}) \text{ dalam } m^3 \text{ gas/t sampah}$$

dengan G_t = volume gas yang terbentuk m^3 gas/t sampah sampai waktu t, k = konstanta degradasi (tipikal untuk landfill: 0,03 - 0,06), dan t = waktu (tahun). Struktur model tersebut di atas masih memerlukan pengkajian lebih lanjut untuk verifikasi, terutama berkaitan dengan kondisi riil proses dekomposisi sampah. Meskipun demikian, dengan bantuan model tersebut dapat dilakukan estimasi produksi gas dengan menggunakan berbagai parameter. Susuai dengan model tersebut, stabilisasi sampah di landfill/TPA dan dengan demikian pembentukan gas terjadi dalam kurun waktu panjang. Tiga puluh tahun merupakan masa yang umum disebut sebagai masa stabilisasi sampah, tetapi lama waktu ini dapat lebih pendek pada kondisi sampah basah atau lebih panjang pada kondisi sampah kering. Sepertiga sampai dua pertiga gas terbentuk selama lima tahun pertama.

Jumlah dan komposisi gas yang dihasilkan sangat ditentukan oleh karakteristik sampah. Sebagai contoh, produksi gas spesifik teoritis untuk karbohidrat adalah 0,8 Nm^3/kg dengan kandungan CH_4 50 %, sedangkan untuk lemak dan protein masing-masing 0,7 and 1,2 Nm^3/kg dengan kandungan CH_4 70 dan 67 % (ATV, 1989). Karena komposisi sampah pada dasarnya tidak seragam, produksi gas spesifik dan komposisi gas dari suatu landfill dapat berbeda dari landfill lainnya. Di dalam literatur disebutkan bahwa potensi pembentukan gas dari dekomposisi sampah di landfill berkisar antara 150 dan 250 m^3 gas/t (ATV, 1989) atau 0 – 300 m^3 CH_4/t sampah (Yusrizal, 2000). Estimasi lainnya memperlihatkan bahwa produksi gas teoritis dapat mencapai 200-270 L CH_4 per kg sampah, tergantung pada karakteristik sampah dan kondisi fisik landfill, seperti temperatur dan kelembaban (Henry and Heinke, 1996). Jika digunakan nilai produksi gas spesifik rata-rata 235 L CH_4/kg sampah dan 80 % sampah di Jabotabek dibuang ke TPA, maka sebanyak 0,5 juta ton metana per tahun akan terbentuk di TPA. Jumlah produksi metana ini akan terus meningkat seiring dengan pertumbuhan jumlah penduduk dan jumlah produksi sampah. Pada tahun 2015, di Jabotabek diperikirakan akan dihasilkan sebanyak 1,3 ton metana/tahun, jika tidak dilakukan usaha-usaha untuk mengendalikannya (Gambar 3). Emisi metana dapat dikonversi ke dalam bentuk emisi karbon dioksida dengan mengalikannya dengan faktor 24,5 (Yusrizal, 2000):

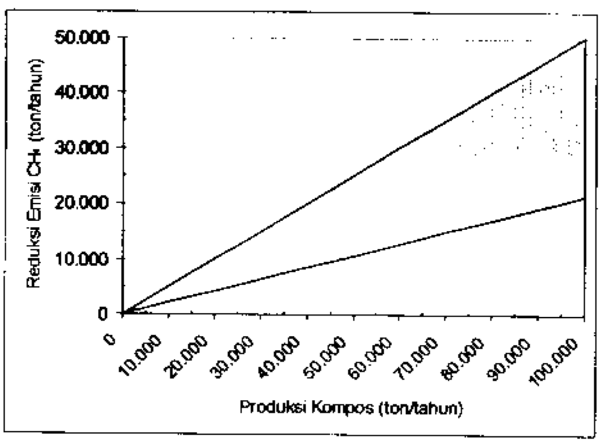
$$\text{Emisi } CO_2 \text{ (t } CO_2\text{/tahun)} = \text{Emisi } CH_4 \text{ (t } CH_4\text{/tahun)} \times 24{,}5 \text{ t } CO_2\text{/t } CH_4$$



Gambar 3. Estimasi misi metana pada berbagai tingat persentase sampah yang ditimbun di landfill di wilayah Jabotabek

3.3. Potensi Kontribusi Pengomposan Sampah terhadap Reduksi Emisi Metana

Dari pengomposan 1,9 ton sampah dapat dihasilkan satu ton kompos, sedangkan satu ton sampah jika ditimbun di landfill dapat menghasilkan 0,20-0,27 m^3 metana (Henry and Heinke, 1996). Metana memiliki densitas 0,5547 g/L. Dengan demikian, dengan menghasilkan satu ton kompos, emisi gas rumah kaca sebesar 0,21-0,29 ton metana atau 5-7 ton karbon dioksida ekuivalen dapat dicegah. Hubungan antara emisi metana dan produksi kompos dapat dilihat pada Gambar 4. Sebagai ilustrasi, Pemerintah Indonesia dan Bank Dunia saat ini sedang mengimplementasi Proyek Manajemen Lingkungan di Jawa Barat dan Jakarta (*the West Java and Jakarta Environmental Management Project*/WJEMP), yang bertujuan untuk meningkatkan pelayanan dan manajemen lingkungan pemukiman, mendorong proses desentralisasi, dan mengembangkan perekonomian daerah.

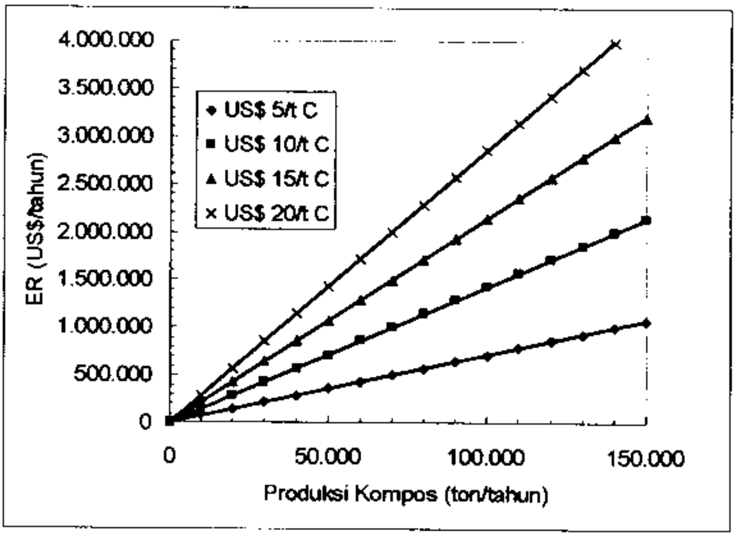


Gambar 4. Hubungan antara reduksi emisi metana dan tingkat produksi kompos

Pengomposan sampah merupakan bagian dari proyek tersebut dan mentargetkan produksi kompos sebesar 100.000 ton per tahun. Dengan tingkat produksi tersebut, pengomposan sampah dapat mereduksi emisi gas rumah kaca sebesar 600.000 ton karbon dioksida ekuivalen per tahun. Oleh karena produksi kompos di wilayah studi saat ini baru mencapai 500 ton per tahun, maka kontribusi pengomposan sampah terhadap reduksi emisi gas rumah kaca masih sangat rendah. Untuk mencapai target proyek WJEMP (untuk memproduksi 100.000 ton kompos per tahun), tingkat produksi kompos tersebut masih harus ditingkatkan sebanyak 200 kali.

3.4. Perdagangan Gas Rumah Kaca

Protokol Kyoto 1997 mengatur Kerangka Kerja Konvensi pada Perubahan Iklim Global, dimana emisi gas rumah kaca dapat diperdagangkan, meskipun reduksi emisi gas rumah kaca memerlukan verifikasi dan sertifikasi. Harga reduksi emisi tersebut berkisar US$ 5 to 20 per ton karbon (Soemarwoto, 2001). Gambar 5 memperlihatkan nilai estimasi reduksi emisi (ER) melalui pengomposan sampah dari Jabotabek pada berbagai harga ER dan laju produksi kompos. Dengan memproduksi satu ton kompos, dapat diharapkan kompensasi (ER) antara US$ 7-29. Meskipun hanya dengan harga ER terendah (US$ 5 per ton karbon), produksi kompos 100.000 ton/tahun (target WJEMP) akan menghasilkan nilai ER sebesar US$ 700.000/tahun.



Gambar 5. Estimasi nilai finasial reduksi emisi melalui pengomposan sampah di Jabotabek pada berbagai harga ER dan laju produksi kompos

Akurasi estimasi tersebut dipengaruhi oleh akurasi input data yang terkait, seperti laju produksi sampah, produksi metana spesifik, dan harga ER. Modifikasi masih diperlukan dan perhitungan perlu disesuaikan dengan kondisi spesifik daerah. Studi ini dimaksudkan untuk menunjukkan indikasi tingginya potensi kontribusi pengomposan sampah dalam penurunan emisi gas rumah kaca dan implikasi finansialnya.

4. KESIMPULAN

Dari data hasil survai dan informasi dari Pemerintah Daerah setempat dapat disimpulkan bahwa 5 juta ton atau setara dengan 25 juta m³ sampah per tahun dihasilkan di Jabotabek. Hanya 60-80 % dari sampah tersebut yang dapat dikumpulkan dari rumah tangga dan diangkut ke TPA. Karena TPA umumnya merupakan sistem *open dump*, kebanyakan bahan organik mengalami dekomposisi anaerobik, yang menyebabkan dihasilkannya metana. Jika diasumsikan laju produksi gas metana rata-rata 235 L CH_4/kg sampah dan 80% sampah dibuang ke TPA, maka sebanyak 0,5 juta ton metana (atau 12,8 juta ton karbon dioksida ekuivalen) dihasilkan setiap tahun di Jabotabek.

Proses aerobik menjamin tidak dihasilkannya metana dan bahkan dihasilkan produk yang stabil yang bermanfaat (kompos). Dengan menghasilkan satu ton kompos, emisi 0,21-0,29 ton metana, setara 5-7 ton karbon dioksida, dapat dihindari. Sebagai ilustrasi, target WJEMP untuk memproduksi 100.000 ton kompos per tahun dapat menurunkan emisi 600.000 ton karbon dioksida ekuivalen per tahun. Meskipun kontribusi tersebut di atas hanya 5 % dari total produksi metana potensial dari landfill, dalam jangka panjang hal ini dapat berdampak positif terhadap perubahan iklim global dan perubahan permukaan air laut.

Pengomposan sampah tidak hanya memberikan keuntungan teknis, tetapi juga memiliki implikasi ekonomis. Hal ini dimungkinkan melalui mekanisme perdagangan gas rumah kaca. Dengan harga reduksi emisi US$ 5–20 per ton karbon, produksi 100.000 ton kompos/tahun (target WJEMP) dapat menghasilkan nilai ER sebesar US$ 0,7 - 2.9 juta/tahun. Keuntungan ekonomi ini dapat digunakan sebagai sumber daya untuk keberlanjutan manajemen sampah yang baik (*sustainable MSW management*).

DAFTAR PUSTAKA

Abwasser Technische Vereinigung (ATV), Recovery, Processing and Utilization of Biogas, *Korrespondenz Abwasser*, 36 (13), pp. 153 – 164, 1989.

Hanks, S., *Ecology and the Biosphere*, St. Luice Press, Florida, pp. 108-110, 1996.

Henry, J. G., Solid wastes (Chapter 14). *Environmental Science and Engineering*, ed. J. G. Henry and G.W. Heinke, Prentice-Hall International: New Jersey, pp. 567-619, 1996.

Morissoy, W. A. and John, R. J. 1998. Global Climate Change. CRS Issue Brief for Congress. The Committee for the national Institute for the Environmental. Washington, D. C.

Porteous, A. 1992. Dictionary of Environmental Science and Technology, 2nd ed. John Wiley and Sons, New York

Soemarwoto, O. 2001. Peluang Berbisnis Lingkungan Hidup Di Pasar Global untuk Pembangunan Berkelanjutan. Makalah Seminar "Kebijakan Perlindungan Lingkungan dan Pembangunan berkelanjutan Indonesia di Era Reformasi dalam Menghadapai KTT Rio + 10". Jakarta, 8 Februari 2001

Yusrizal, Z., Estimation of methane emission from landifill site Bantar Gebang, Bekasi (in Bahasa Indonesia), *Thesis at the Faculty of Mathematics and Natural Sciences, Bogor Agricultural University (IPB), Indonesia*, 2000