

# PRODUKSI GAS KARBON DIOKSIDA SELAMA PROSES BIOREMEDIASI LIMBAH HEAVY OIL DENGAN TEKNIK LANDFARMING

Charlena<sup>1</sup>, Zainal Alim Mas'ud<sup>1</sup>, Iswandi Anas<sup>2</sup>, Yadi Setiadi<sup>3</sup>, Moh. Yani<sup>4</sup>

1 Departemen Kimia FMIPA-Institut Pertanian Bogor

2 Departemen Ilmu Tanah dan Sumberdaya Lahan Faperta-Institut Pertanian Bogor

3 Departemen Silvikultur Fahutan-Institut Pertanian Bogor

4 Departemen Tehnologi Industri Pertanian FATETA-Institut Pertanian Bogor

## ABSTRACT

*Bioremediation is defined as biological degradation process of organic or inorganic wastes in a controlled condition to control and reduce their amount in the environment. In this study, the soil which had been polluted by heavy petroleum oil fractions, i.e. heavy oil waste (HOW), was used as sample. The bioremediation technique used in this study is an ex-situ technique. This study was conducted to determine the amount of produced CO<sub>2</sub> gas during the HOW degradation process. Treatment of heavy oil waste with biostimulation and bioaugmentation. Production of CO<sub>2</sub> gas were placed in impiger and analysis with titrimetry method. The highest CO<sub>2</sub> production mean was obtained from the bioaugmentation treatment with compost adding, i.e. 244,5 mg/m<sup>3</sup>. Generally, graphs CO<sub>2</sub> gas production followed a similar sinusoidal pattern. From these results it can be inferred that the degradation process of HOW happened during the treatments in aerobic condition.*

**Keyword:** heavy oil waste, CO<sub>2</sub> gas, bioaugmentation,

## PENDAHULUAN

Pelepasan senyawa-senyawa organik dan anorganik ke dalam lingkungan terjadi hampir setiap tahun akibat dari aktivitas manusia. Jika ditinjau secara kimia, maka senyawa organik dan anorganik tersebut adalah limbah. Dalam beberapa kasus, limbah tersebut dibuang dengan sengaja, misalnya hasil industri, dan dalam kasus lainnya adalah suatu kecelakaan, misalnya tumpahan minyak. Senyawa-senyawa tersebut adalah toksik dan terakumulasi dalam lingkungan tanah dan perairan. Kontaminasi pada tanah, permukaan, dan air bawah tanah merupakan akibat adanya akumulasi yang terus menerus dari senyawa toksik tersebut dengan jumlah yang melewati ambang batas (Abraham 2008).

Kegiatan industri perminyakan, seperti eksplorasi dan eksploitasi minyak bumi semakin meningkat, sejalan dengan peningkatan kebutuhan manusia terhadap minyak bumi sebagai sumber energi. Proses eksploitasi dari minyak bumi ini akan menghasilkan produk berupa minyak dan gas. Akan tetapi selain menghasilkan produk yang bermanfaat juga dihasilkan sisa proses sebagai limbah. Limbah minyak bumi atau produknya juga dapat berasal dari kegiatan industri yang umumnya terbuang ke sungai dan akan mencemari lingkungan akuatik

khususnya laut, sedangkan limbah sisanya dapat mencemari lingkungan lain, yaitu tanah dan udara (Udiharto 1996). Bila dilihat dari jenisnya, limbah minyak bumi ada beberapa macam bergantung pada sumber minyak yang dihasilkan. Salah satunya adalah limbah minyak bumi yang berasal dari minyak fraksi berat, yang terdiri atas hidrokarbon berantai panjang yang sulit untuk didegradasi.

Pada awalnya cara penanganan limbah minyak bumi ini adalah dengan cara dibuang langsung ke lingkungan, karena berbagai macam tuntutan pada zaman sekarang ini, maka aspek lingkungan pun sangat penting untuk diperhatikan. Salah satu penanganannya adalah dengan cara biologi, yaitu bioremediasi. Bioremediasi merupakan alternatif pengolahan limbah minyak bumi dengan cara degradasi oleh mikroorganisme yang menghasilkan senyawa akhir yang stabil dan tidak beracun. Proses degradasi ini relatif murah, efektif, dan ramah lingkungan, namun metode ini membutuhkan waktu yang lebih lama dibandingkan dengan cara fisika atau kimia. Bioremediasi mengandalkan reaksi mikrobiologis di dalam tanah. Teknik ini mengondisikan mikrob sedemikian rupa sehingga mampu mengurai senyawa hidrokarbon yang terperangkap di dalam tanah.

Pada penelitian ini, sampel yang digunakan adalah tanah yang tercemar minyak bumi fraksi berat yang disebut dengan *heavy oil waste* (HOW). Teknik bioremediasi yang digunakan adalah bioremediasi *ex-situ* karena limbah tidak diperlakukan di tempat asalnya, melainkan dipindahkan ke dalam suatu tempat untuk mendapat perlakuan. Selama proses degradasi limbah minyak bumi ini, terjadi perubahan senyawa kimia dari yang bersifat toksik menjadi lebih aman untuk dibuang ke lingkungan. Dari proses biodegradasi ini, senyawa hidrokarbon yang memiliki rantai panjang dan bobot molekul yang tinggi dipecah menjadi senyawa hidrokarbon dengan bobot molekul lebih rendah. Selama proses ini akan dihasilkan gas CO<sub>2</sub>, yang merupakan indikasi dari adanya proses degradasi. Oleh karena itu perlu dilakukan penelitian untuk mengetahui keberhasilan biodegradasi dengan adanya gas CO<sub>2</sub> yang dihasilkan dari proses biodegradasi. Eris (2006) pernah melakukan penelitian terhadap pembentukan gas yang dihasilkan pada proses biodegradasi minyak diesel dengan menggunakan teknik bioremediasi *slurry* bioreaktor, dan gas yang berhasil diamati adalah CH<sub>4</sub>, CO, dan CO<sub>2</sub>. Penelitian ini bertujuan mengevaluasi produksi gas CO<sub>2</sub> yang dihasilkan selama proses biodegradasi limbah HOW berlangsung.

## BAHAN DAN ALAT

### Bahan dan Alat

Bahan-bahan yang digunakan adalah HOW yang diperoleh dari ladang minyak Duri, kompos, tanah liat yang didapat dari Duri, konsorsium bakteri yang sudah dibuat terlebih dahulu yang berasal dari kotoran sapi dan kuda dari Fakultas Peternakan, larutan penyerap TCM.

Alat-alat yang digunakan adalah peralatan pencuplikan gas, botol film, *flow* meter, dan spektrofotometer UV-VIS 1700 Shimadzu.

### Metode Penelitian

#### Persiapan Sampel

Persiapan sampel meliputi beberapa kegiatan, yaitu pengumpulan bahan baku, penggilingan, dan pengeringan. Bahan baku HOW (diperoleh dari ladang minyak Duri, Riau), tanah liat, kompos, dan konsorsium bakteri. Sampel digiling terlebih dahulu dan tanah liat dikeringkan supaya mudah untuk dihaluskan.

Sampel diberi perlakuan yang berbeda, yang terdiri atas sampel (HOW), tanah liat, dan kompos dengan nisbah yang berbeda-beda dengan bobot keseluruhan 10 kg. Komposisi perlakuan sampel seperti yang ditunjukkan pada Tabel 1. Setiap perlakuan ada 2 buah wadah yang diperlakukan secara bioaugmentasi dengan penambahan suspensi bakteri  $\pm$  200 mL dan 1 buah wadah sebagai kontrol yang diperlakukan secara biostimulasi.

Tabel 1 Komposisi nisbah perlakuan sampel

Kode	Komposisi (kg)			Keterangan
	HOW	Tanah Liat	Kompos	
A <sub>0</sub>	10	0	0	Biostimulasi
A <sub>11</sub>	10	0	0	Bioaugmentasi
A <sub>12</sub>	10	0	0	Bioaugmentasi
B <sub>0</sub>	5	0	5	Biostimulasi
B <sub>11</sub>	5	0	5	Bioaugmentasi
B <sub>12</sub>	5	0	5	Bioaugmentasi
C <sub>0</sub>	5	5	0	Biostimulasi
C <sub>11</sub>	5	5	0	Bioaugmentasi
C <sub>12</sub>	5	5	0	Bioaugmentasi
D <sub>0</sub>	5	2,5	2,5	Biostimulasi
D <sub>11</sub>	5	2,5	2,5	Bioaugmentasi
D <sub>12</sub>	5	2,5	2,5	Bioaugmentasi

## Pencuplikan Gas

Peralatan pencuplikan disiapkan, tabung *impinger* diisi dengan larutan penjerapnya masing-masing sebanyak 10 mL. Laju alirnya ditentukan dengan alat *flow* meter sebesar 0,2 L/menit. Pencuplikan dilakukan selama 1 jam, dan setelah itu larutan penjerap yang telah berisi gas dimasukkan ke dalam botol film, lalu *impinger* dibilas dengan akuades.

### Analisis Gas CO<sub>2</sub> (Eaton *et al.* 2005)

Sampel yang berupa larutan penjerap berisi gas dimasukkan ke dalam erlenmeyer dan ditambahkan indikator PP, kemudian dititrasi dengan HCl 0,025 N yang telah distandardisasi terlebih dahulu. Larutan penjerap CO<sub>2</sub> dipipet sebanyak 10 mL ke dalam erlenmeyer dan ditambahkan indikator PP, kemudian dititrasi dengan HCl 0,025 N. Larutan penjerap CO<sub>2</sub> ini digunakan sebagai blangko.

$$W_{\text{CO}_2}(\text{mg}) = (A - B) \times N \text{ HCl} \times 44$$

$$\text{CO}_2(\text{mg}/\text{m}^3) = \frac{W_{\text{CO}_2}}{V} \times \frac{(t + 273)}{298} \times 1000$$

Keterangan:

$A$  = mL HCl yang terpakai (blangko)

$B$  = mL HCl yang terpakai (sampel)

$V$  = Volume dalam liter [Laju alir x  $t$  (menit)]

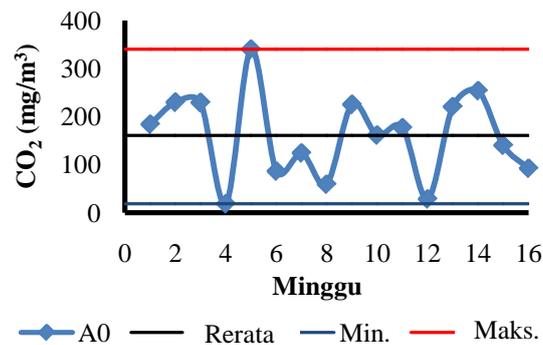
$W_{\text{CO}_2}$  = mg sampel yang didapat

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Pembentukan gas CO<sub>2</sub> disebabkan terjadinya proses aerobik di dalam biodegradasi limbah tanah yang tercemar minyak bumi ini. Proses ini terutama dilakukan oleh bakteri aerobik. Berdasarkan penelitian Eris (2006), terbentuknya gas CO<sub>2</sub> ini merupakan akibat adanya aktivitas bakteri dalam mendegradasi hidrokarbon. Secara umum dapat diketahui bahwa produksi gas CO<sub>2</sub> mengalami naik turun. Grafik yang dihasilkan secara umum berbentuk sinusoidal.

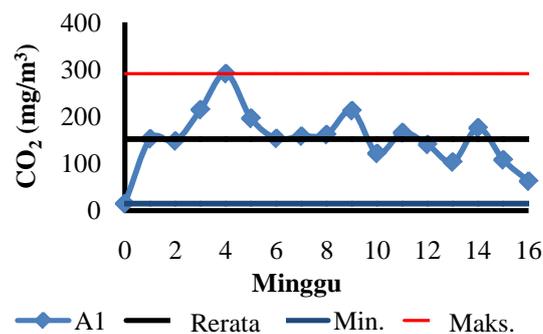
Perlakuan A<sub>0</sub> merupakan HOW tanpa dicampur dengan bahan lainnya, maupun penambahan bakteri, jadi hanya mengandalkan bakteri indigenus yang berasal dari HOW itu sendiri. Gas CO<sub>2</sub> yang dihasilkan pada perlakuan A<sub>0</sub>, mengalami naik turun, seperti ditunjukkan pada Gambar 1. Rerata gas CO<sub>2</sub> yang dihasilkan pada perlakuan ini, yaitu sebesar 160,8 mg/m<sup>3</sup>. Adanya gas CO<sub>2</sub> ini berhubungan dengan respirasi dari bakteri yang

mendegradasi. Rerata gas yang dihasilkan pada perlakuan ini termasuk kecil. Hal ini bisa diakibatkan karena proses degradasi ini terjadi pada HOW murni yang tidak dicampur dengan bahan pengencer yang lainnya. Hal ini pernah diungkapkan oleh Ramos *et al.* (2009), yang menerangkan bahwa adanya produksi gas pada tanah tercemar hidrokarbon yang tidak dicampur dengan bahan pelarut yang lainnya dan mengandung *polyaromatic hydrocarbon* (PAH), tidak dihasilkan gas yang mengalami peningkatan secara signifikan.



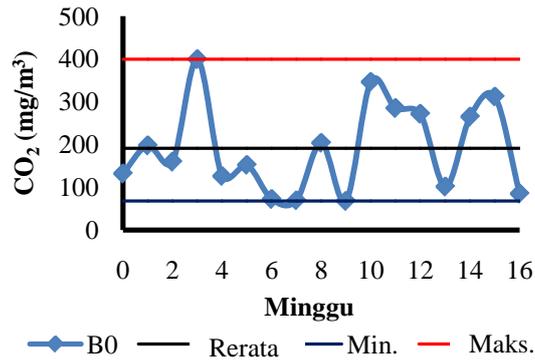
Gambar 1 Produksi gas CO<sub>2</sub> perlakuan biostimulasi A<sub>0</sub>.

Perlakuan A<sub>1</sub> terdiri atas HOW tanpa dicampur dengan bahan lainnya, tetapi ditambahkan konsorsium bakteri, yang disebut dengan bioaugmentasi. Gas yang dihasilkan pada perlakuan ini juga mengalami fluktuasi seperti pada perlakuan biostimulasi (Gambar 2). Rerata gas yang dihasilkan pada perlakuan A<sub>1</sub> ini lebih kecil dibandingkan dengan perlakuan A<sub>0</sub>, yaitu sebesar 151,5 mg/m<sup>3</sup>. Rerata gas yang kecil ini dapat terjadi karena proses degradasi ini terjadi pada HOW murni.



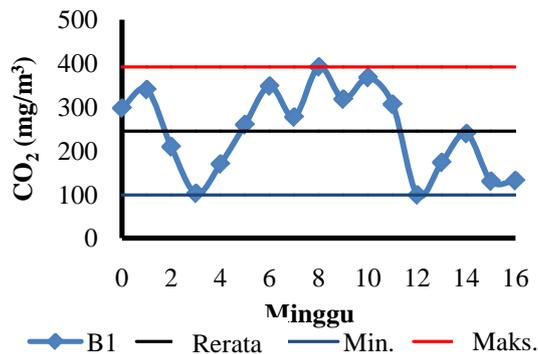
Gambar 2 Produksi gas CO<sub>2</sub> perlakuan bioaugmentasi A<sub>1</sub>.

Perlakuan B<sub>0</sub> merupakan campuran HOW dengan kompos. Adanya penambahan kompos dapat meningkatkan populasi mikrob yang ada di dalam tanah tersebut. Rerata gas yang dihasilkan cukup tinggi, yaitu sebesar 190,7 mg/m<sup>3</sup>, grafiknya terdapat pada Gambar 3. Adanya kompos ini bisa menjadi faktor yang sangat mendukung untuk berlangsungnya proses degradasi oleh bakteri, karena pada kompos terdapat nutrisi yang dapat dijadikan sumber makanan bagi mikroorganisme.



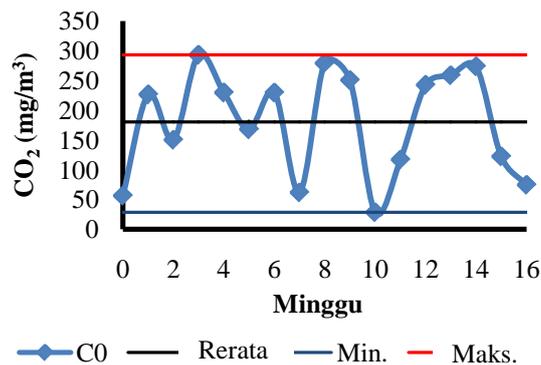
Gambar 3 Produksi gas CO<sub>2</sub> perlakuan biostimulasi B<sub>0</sub>.

Perlakuan B<sub>1</sub> merupakan campuran HOW dengan kompos yang ditambah konsorsium bakteri. Berdasarkan grafik dapat dilihat bahwa rerata gas CO<sub>2</sub> yang dihasilkan memiliki nilai paling tinggi dibandingkan perlakuan yang lainnya yaitu sebesar 244,5 mg/m<sup>3</sup>, grafiknya disajikan pada Gambar 4. Tingginya produksi gas ini dapat disebabkan oleh adanya penambahan kompos. Di dalam kompos selain terdapat nutrisi, juga terdapat bakteri yang dapat menambah populasi mikroorganisme di dalam limbah yang didegradasi tersebut.



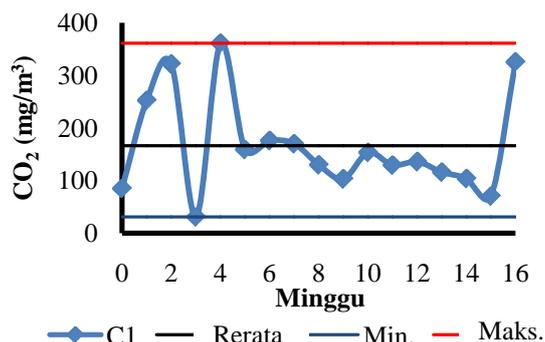
Gambar 4 Produksi gas CO<sub>2</sub> perlakuan bioaugmentasi B<sub>1</sub>.

Perlakuan C<sub>0</sub> merupakan campuran HOW dengan tanah liat. Adanya tanah liat ini merupakan bahan untuk mengencerkan HOW. Rerata gas yang dihasilkan cukup tinggi, yaitu sebesar 180,2 mg/m<sup>3</sup>. Hal ini dapat terjadi karena HOW yang telah diencerkan dengan tanah liat, sehingga limbahnya tidak terlalu pekat seperti semula. Grafik produksi gasnya terdapat pada Gambar 5.



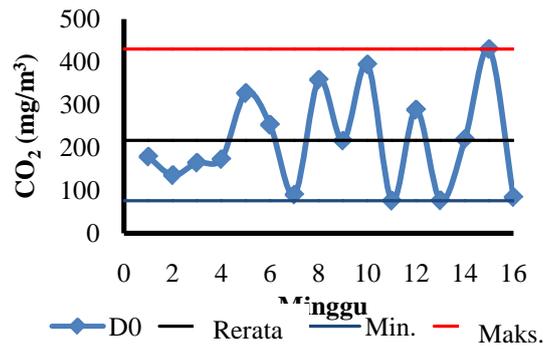
Gambar 5 Produksi gas CO<sub>2</sub> perlakuan biostimulasi C<sub>0</sub>.

Perlakuan C<sub>1</sub> terdiri atas HOW yang dicampur dengan tanah liat dan ditambahkan bakteri konsorsium. Rerata gas yang dihasilkan lebih kecil jika dibandingkan dengan perlakuan C<sub>0</sub>, yaitu sebesar 165,9 mg/m<sup>3</sup>. Produksi gas yang tidak terlalu tinggi pada perlakuan C dapat dimungkinkan karena tanah liat memiliki tingkat porositas yang lebih kecil dibandingkan dengan kompos, sehingga penyebaran nutrisi tidak dapat terjadi secara mudah. Grafik produksi gas ditunjukkan pada Gambar 6.



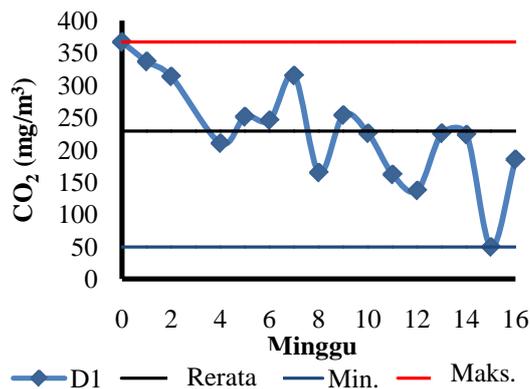
Gambar 6 Produksi gas CO<sub>2</sub> perlakuan bioaugmentasi C<sub>1</sub>.

Produksi gas pada perlakuan D<sub>0</sub> cukup tinggi dibandingkan dengan perlakuan yang lainnya jika dilihat dari reratanya, yaitu sebesar 216,5 mg/m<sup>3</sup>. Perlakuan D<sub>0</sub> terdiri atas campuran HOW, tanah liat, dan kompos dengan nisbah HOW dan campurannya adalah 1:1. Produksi gas yang cukup tinggi ini kemungkinan dihasilkan karena HOW diberi perlakuan dengan pengenceran oleh tanah liat, kemudian adanya penambahan kompos yang dapat membantu proses degradasi. Grafik produksi gasnya terdapat pada Gambar 7.



Gambar 7 Produksi gas CO<sub>2</sub> perlakuan biostimulasi D<sub>0</sub>.

Perlakuan D<sub>1</sub> terdiri atas campuran HOW, tanah liat, dan kompos, dengan penambahan bakteri konsorsium. Rerata gas yang dihasilkan lebih tinggi dibandingkan dengan perlakuan D<sub>0</sub>, yaitu sebesar 228,9 mg/m<sup>3</sup>. Hal ini karena pada perlakuan D<sub>1</sub> adanya penambahan bakteri, jadi menghasilkan gas CO<sub>2</sub> lebih banyak dibandingkan perlakuan D<sub>0</sub>. Grafiknya seperti yang ditunjukkan pada Gambar 8.

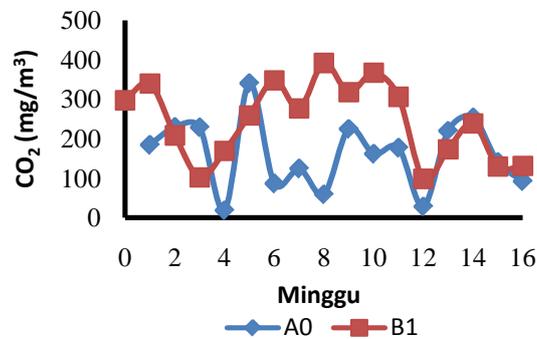


Gambar 8 Produksi gas CO<sub>2</sub> perlakuan bioaugmentasi D<sub>1</sub>.

Dari keseluruhan data yang didapatkan, produksi gas CO<sub>2</sub> yang paling tinggi terdapat pada perlakuan B secara bioaugmentasi. Baptista *et al.* (2005) menerangkan bahwa adanya produksi CO<sub>2</sub> merupakan penunjuk dari adanya tingkat respirasi pada mikroorganisme, yang diproduksi selama proses bioremediasi. Kao dan Wang (2000) juga mengungkapkan demikian dan menerangkan bahwa gas CO<sub>2</sub> merupakan hasil dari semua proses bioremediasi intrinsik. Tingginya produksi gas yang dihasilkan bisa menjadi petunjuk bahwa proses bioremediasi intrinsik ini berlangsung. Peningkatan kelarutan CO<sub>2</sub> pada air dalam tanah menunjukkan adanya proses biodegradasi. Degradasi pada hidrokarbon berhubungan dengan respirasi mikrob dan hasilnya ditunjukkan dengan terbentuknya gas CO<sub>2</sub> ini.

Dari semua data yang didapatkan untuk produksi gas CO<sub>2</sub>, ada beberapa perlakuan yang memiliki kemiripan pola dilihat dari grafik yang dihasilkan, yaitu A<sub>0</sub> dengan B<sub>1</sub>, A<sub>0</sub> dengan D<sub>1</sub>,

A<sub>1</sub> dengan B<sub>1</sub>, dan B<sub>1</sub> dengan C<sub>1</sub>. Di bawah ini adalah salah satu contoh kemiripan pola yang terdapat pada perlakuan A<sub>0</sub> dengan B<sub>1</sub>, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 9. Berdasarkan gambar tersebut dapat dilihat bahwa perlakuan A<sub>0</sub> memiliki pola yang sama dengan B<sub>1</sub>, dilihat dari fluktuasi yang terjadi pada setiap minggunya untuk setiap perlakuan.



Gambar 9 Kemiripan pola perlakuan secara grafis.

## KESIMPULAN

Dari keseluruhan data yang didapat, dapat disimpulkan bahwa HOW dapat didegradasi dengan menggunakan mikroorganisme, dalam hal ini bakteri. Hal ini bisa ditunjukkan dengan adanya gas CO<sub>2</sub> yang terbentuk, yang bisa menjadi salah satu indikasi dari adanya proses biodegradasi. Secara keseluruhan, dapat dikatakan bahwa proses biodegradasi dengan teknik *landfarming* ini dapat berlangsung secara aerobik, dilihat dari adanya gas CO<sub>2</sub> yang dihasilkan. Produksi gas CO<sub>2</sub> yang memiliki rerata tertinggi dihasilkan oleh perlakuan bioaugmentasi dengan penambahan kompos, yaitu sebesar 244,5 mg/m<sup>3</sup>. Secara umum juga dapat dilihat dari grafik yang dihasilkan untuk setiap gas CO<sub>2</sub> hampir memiliki pola yang sama.

## DAFTAR PUSTAKA

- Abraham S. 2008. *Bioremediation of Hydrocarbon-Contaminated Soil*. Muscat: Industrial Systems Corp.
- Baptista JS, Cammarota MC, Dias D. 2005. Production of CO<sub>2</sub> in crude oil bioremediation in clay soil. *Braz Arch Biol Technol* 48:249-255.
- Eaton AD, Aesceri LS, Rice EW, Greenberg AE. 2005. *Standar Methods For the Examination of Water and Wastewater*. Washington DC: American Public Health Association.

- Eris FR. 2006. Pengembangan teknik bioremediasi dengan *slurry* bioreaktor untuk tanah tercemar minyak diesel [tesis]. Bogor: Program Pascasarjana, Institut Pertanian Bogor.
- Kao CM, Wang CC. 2000. Control of BTEX migration by intrinsic bioremediation at a gasoline spill site. *Wat Res* 34 (13):3413-3423.
- Ramos SM, Bernal DA, Molina JA, Cleemput OW, Dendooven L. 2009. Emission of nitrous oxide from hydrocarbon contaminated soil amended with waste water sludge and earthworms. *Appl Soil Ecol* 4:69-76.
- Udiharto M. 1996. Bioremediasi minyak bumi. Di dalam: *Peranan Bioremediasi dalam Pengelolaan Lingkungan. Prosiding Pelatihan dan Lokakarya*, Bogor, 24-28 Jun 1996. hlm 97-105.