

Degradasi Tanah Lahan Suboptimal oleh *Bacillus mycooides* Indigenous dan Kinetika Reaksinya

Degradation Soil of Suboptimal Land by Bacillus mycooides Indigenous and its Kinetics Reaction

Zainal Fanani^{*)1}, Bambang Yudono¹ dan Veriana Romarito Situmorang²

¹Jurusan Kimia FMIPA Universitas Sriwijaya

²Alumni Jurusan Kimia FMIPA Universitas Sriwijaya

Telp./Faks. +62711580269

^{*)}Penulis untuk korespondensi: unsri@sentrahakiunsri.ac.id

ABSTRACT

Research about degradation soil of suboptimal land from Lilin River PERTAMINA Musi Banyuasin Regency, South Sumatera have been done. The aim of this research is knowing the capability of *Bacillus mycooides* on degradation petroleum hydrocarbon. The measurement of first sludge TPH was 71.1567%. First TPH was become more liquid than before on 5; 7.5; 10; 12.5 and 15% with fresh soil, bulking agent and *Bacillus mycooides* was added 10% from medium total weight. Incubation for 14 days gives result decreasing TPH on each medium become 2.3679; 4.5123; 5.9070; 6.0223 and 8.0010% which is first order reaction. Medium 10% on incubation day 14th; 17th; 22nd; 26th and 31st. On continue, decreasing TPH is 5.9070; 4.5970; 4.0463; 3.7230 and 3.29% with constant rate reaction on 0.0361 day⁻¹. GC-MS result sample analysis shows that *Bacillus mycooides* have an ability to degradation C₁₉H₄₀; C₂₁H₄₄; C₂₄H₅₀ and C₂₈H₅₈ with percentage of concentrate decreasing from those compound is 99.32%.

Keywords: Differential, order, TPH

ABSTRAK

Telah dilakukan penelitian biodegradasi tanah lahan suboptimal yang terkontaminasi minyak bumi asal PERTAMINA Sungai Lilin Kabupaten Musi Banyuasin Sumatera Selatan. Penelitian ini bertujuan menentukan kemampuan *Bacillus mycooides* dalam mendegradasi hidrokarbon minyak bumi. Pengukuran TPH awal sludge adalah 71,1567%. TPH awal diencerkan menjadi 5, 7,5, 10, 12,5 dan 15% dengan tanah segar dan *bulking agent* serta ditambahkan inokulasi bakteri *Bacillus mycooides* sebanyak 10% dari total bobot media. Inkubasi selama 14 hari memberikan hasil penurunan TPH tiap media menjadi 2,3679, 4,5123, 5,9070, 6,0223 dan 8,0010% dengan reaksi berorde satu. Media 10% pada inkubasi hari ke-14, 17, 22, 26 dan ke-31. Secara berturut-turut, penurunan TPH adalah 5,9070, 4,5970, 4,0463, 3,7230 dan 3,29% dengan konstanta laju reaksi sebesar 0,0361 hari⁻¹. Hasil analisa GC-MS menunjukkan bahwa *Bacillus mycooides* mampu mendegrasi C₁₉H₄₀, C₂₁H₄₄, C₂₄H₅₀ dan C₂₈H₅₈ dengan persen penurunan kosentrasi dari senyawa-senyawa tersebut sebesar 99,32%.

Kata kunci: Diferensial, orde, TPH

PENDAHULUAN

Lahan suboptimal adalah lahan yang tidak dapat secara optimal dalam pemanfaatannya karena beberapa hal antara lain minim unsur hara, pengairan yang tidak

bisa optimal dan pencemaran lahan karena aktifitas manusia. Aktivitas industri perminyakan umumnya menghasilkan limbah minyak dan terjadi tumpahan baik di tanah maupun perairan (Nugroho 2006).

Limbah dan tumpahan tersebut akan semakin meningkat sejalan dengan meningkatnya aktivitas industri perminyakan di lapangan. Penanganan yang tidak tepat dapat mengakibatkan pencemaran tanah sehingga tanah perkebunan akan berubah menjadi lahan suboptimal (Santosa 2003).

Usaha perbaikan tanah lahan suboptimal akibat dari limbah minyak bumi secara konvensional hasilnya kurang memuaskan. Membuang bahan pencemar dengan membenamkannya ke dalam tanah tidak menanggulangi masalah. Bahan tersebut dapat meresap ke dalam air tanah dan mencemari perairan. Alternatif lain yang dapat digunakan dalam pemulihan lahan suboptimal tersebut adalah teknologi bioremediasi yaitu menggunakan bakteri untuk mengurai rantai hidrokarbon yang terdapat pada minyak bumi. Penerapannya pada lahan suboptimal akibat tercemar minyak bumi dapat mengurangi konsentrasi limbah minyak yang ada dan membantu usaha penormalan kembali lingkungan tersebut (Yani *et al.* 2003). Keputusan Menteri No.04/1995 menyebutkan bahwa pengolahan limbah minyak bumi secara biologis harus dapat menurunkan konsentrasi hidrokarbon hingga mencapai ambang batas yang disyaratkan aman bagi lingkungan yaitu 10.000 ppm (Edvantoro 2003).

Aktivitas bakteri dalam mendegradasi minyak bumi tergantung kepada fisiologi bakteri dan kondisi beberapa parameter lingkungan setempat, yaitu pH, kelembaban, aerasi, temperatur dan ketersediaan nutrisi. Pemilihan inokulan yang sesuai dan menciptakan kondisi lingkungan yang optimal untuk bakteri dapat mempercepat proses biodegradasi sehingga memungkinkan terjadinya pengurangan konsentrasi hidrokarbon secara maksimal. Bioremediasi dapat dilakukan dengan menggunakan bakteri indigenous maupun menginokulasi bakteri terpilih dari tempat lain. Beberapa penelitian juga telah menginokulasi bakteri pendegradasi minyak bumi dari daerah disekitar limbah minyak bumi itu berada (Kim *et al.* 2005).

Bakteri *Bacillus mycoides* merupakan spesies bakteri dari Genus *Bacillus* yang merupakan salah satu dari jenis bakteri yang dapat mendegradasi limbah minyak bumi. Bakteri pendegradasi contohnya *Pseudomonas sp.*, *Bacillus sp.*, *Nocardia sp.*, *Staphylococcus sp.* mendegradasi rantai hidrokarbon dari minyak bumi dan menjadikannya sebagai sumber nutrisi untuk berkembang biak (Herdiyantoro 2005). Herdiyantoro (2005) juga menyebutkan bahwa bakteri dari Genus *Bacillus* ini dapat menghasilkan biosurfaktan yang dapat meningkatkan kemampuan mendegradasi limbah minyak bumi.

Penelitian degradasi tanah lahan sub optimal yang terkontaminasi minyak bumi oleh *Bacillus mycoides* dan untuk menentukan keberhasilan degradasi tersebut maka dianalisa penurunan kandungan senyawa-senyawanya dengan menggunakan alat GC-MS. Penelitian ini bertujuan untuk menentukan kinetika biodegradasi tanah terkontaminasi minyak bumi oleh *Bacillus mycoides* dan menentukan orde reaksi dan konstanta laju degradasinya, menentukan kemampuan *Bacillus mycoides* untuk menurunkan TPH dan menentukan jenis rantai hidrokarbon yang mampu didegradasi oleh *Bacillus mycoides*.

BAHAN DAN METODE

Bahan dan Alat

Bahan-bahan yang digunakan adalah tanah terkontaminasi minyak bumi yang diambil dari lahan suboptimal PERTAMINA Sungai Lilin, Kabupaten Musi Banyuasin, Sumatera Selatan, Inokulum bakteri *Bacillus mycoides* yang diperoleh dari sekitar lahan terkontaminasi minyak tersebut, tanah segar, n-heksan sebagai pelarut, pupuk urea, TSP dan KCl serta serbuk kayu sebagai *Bulking agent*.

Alat yang digunakan dalam proses penelitian ini adalah Box media yang berukuran 13 L, sekop kayu untuk aerasi, Bekker gelas, gelas ukur, pipet ukur, pipet tetes, labu takar, tabung autoklaf, seperangkat alat ekstraksi berupa Soxhlet, oven, desikator, timbangan, soil tester, dan instrumen GC-MS.

Pengukuran TPH Awal

TPH awal yang dimaksud adalah *Total Petroleum Hydrocarbon* yang terkandung pada tanah lahan suboptimal yang terkontaminasi minyak sebelum mendapat perlakuan lain. Tanah lahan suboptimal terlebih dahulu dibersihkan dari pengotor-pengotor misalnya plastik dan kayu. Tanah tersebut dipanaskan dalam Bekker gelas bersih pada oven dengan suhu 100 °C - 110 °C. Tanah yang sudah dipanaskan, kembali didinginkan dan ditimbang sebanyak 5 g untuk diekstrak dengan menggunakan pelarut n-heksan dan alat Soxhlet. Proses ekstraksi dengan metode sokletasi dilakukan sampai isi tabung Soxhlet terlihat jernih dan ekstrak sampel tanah tertampung di labu didih didestilasi pada suhu 69 °C, selanjutnya ekstrak tanah sampel yang terdapat di labu didih dimasukkan ke dalam desikator dan ditimbang hingga diperoleh hasil yang tepat. Perulangan dilakukan agar didapat kondisi TPH awal yang lebih tepat untuk mewakili nilai TPH awal dari sampel tersebut.

Pembuatan Media

Hasil TPH awal dari tanah terkontaminasi minyak bumi di atas diketahui maka dibuat media dengan berbagai konsentrasi dengan mengencerkan %TPH awal dari sampel tanah menjadi 5,0; 7,5; 10,0; 12,5 dan 15,0% dengan pengencer berupa tanah segar (TS) dan *bulking agent* (BA). Tanah segar diperoleh dari daerah yang bukan lahan pertanian, bukan tanah yang mengandung kompos dan bukan tanah berpasir, sedangkan *bulking agent* yang digunakan pada penelitian ini adalah serbuk kayu yang sudah berukuran lebih halus. Massa setiap bahan (sampel tanah : tanah segar : *bulking agent*) dihitung dengan perbandingan tertentu. Setiap media dihaluskan agar tidak terdapat sampel tanah yang menumpuk. Dilakukan homogenisasi dan diukur TPH awal untuk setiap media 5,0%; 7,5%; 10,0%; 12,5% dan 15,0% (TPH₀). Setiap media memiliki massa total sebesar 1000 g.

Penambahan *Bacillus mycooides* pada Media

Media yang sudah disediakan selalu dijaga kelembabannya dengan cara disirami air bersih sebelum bakteri dimasukkan ke dalam media. Sebagai nutrisi bakteri sebelum mendegradasi hidrokarbon minyak bumi sebagai makanannya ditambahkan nutrisi N, P dan K dengan rasio 5:1:0,1. Nutrisi ini diperoleh dari pupuk urea sebagai sumber N, pupuk TSP sebagai sumber P dan pupuk KCl sebagai sumber K. Sementara unsur C diperoleh dari sampel tanah. Setelah media ditambahkan dengan nutrisi, dijaga kelembabannya, maka dimasukkan isolat *Bacillus mycooides*. Sterilisasi tetap dijaga pada saat bakteri dicampur dengan media. Proses media dicampur dengan *Bacillus mycooides* dilakukan pada suhu ruangan. Setelah dicampur, maka dilakukan pengadukan (aerasi). Tujuan aerasi adalah agar bakteri tersebar merata pada media. Masing-masing media dicampurkan dengan bakteri *Bacillus mycooides* sebanyak 100 mL atau 10% dari massa total media.

Biodegradasi oleh Bakteri *Bacillus mycooides*

Kelembaban media bioremediasi dijaga pada (40), pH (5,8-6,5) dan dilakukan aerasi setiap hari. Derajat keasaman (pH) dan kelembaban dijaga dan diukur dengan *soil tester*. Jika pH naik, maka disemprot dengan larutan dolomit (kapur) dengan konsentrasi 1 N. Jika kelembaban menurun, maka disiram dengan air bersih sampai kondisi kelembaban normal. Setelah 14 hari waktu inkubasi maka diukur TPH dari masing-masing media (TPH₁₄) dan dihitung orde reaksinya dengan Metode Differensial. Khusus untuk media 10,0%, TPH diukur pada hari ke-14, 17, 22, 26 dan ke-31 waktu inkubasi dan dari data nilai konstanta laju degradasi dihitung dengan metode Integral. TPH₀ dan TPH₃₁ dari media 10% diuji kandungan hidrokarbonnya dengan menggunakan GC-MS sehingga diperoleh dugaan komponen hidrokarbon yang mampu didegradasi oleh *Bacillus mycooides*.

Analisis Data

Penentuan orde reaksi menggunakan metode diferensial, sedangkan penentuan konstanta reaksi menggunakan metode integral.

HASIL

Penurunan TPH dari tiap media bioremediasi setelah 14 hari waktu inkubasi disajikan pada Tabel 1, sedangkan pengukuran TPH dari media 10% pada hari ke-14, 17, 22, 26 dan ke-31 waktu inkubasi disajikan pada Gambar 1. Untuk menentukan dugaan senyawa yang mengalami biodegradasi ditentukan dengan GC-MS (Tabel 2).

PEMBAHASAN

Penurunan TPH

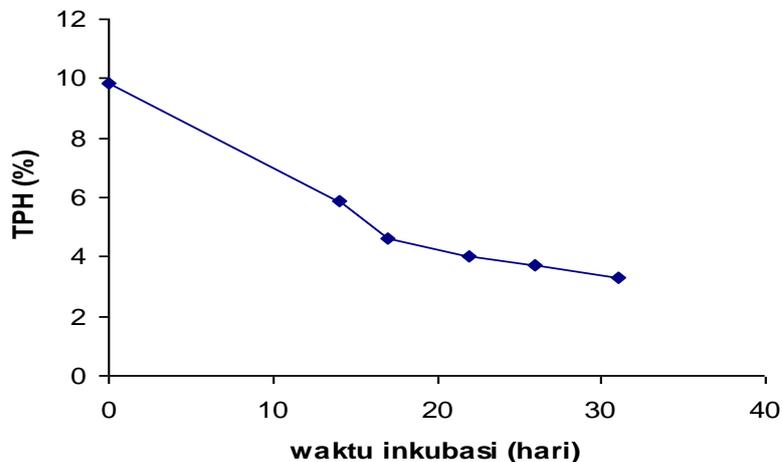
Rata-rata penurunan TPH selama waktu inkubasi 14 hari adalah 39,48% (Tabel 1). Persen penurunan ini menunjukkan bahwa media bioremediasi memberikan kondisi yang baik untuk *Bacillus mycoides* sebagai pendegradasi

hidrokarbon sehingga *Bacillus mycoides* bekerja dengan baik. Fungsi penambahan *bulking agent* yang berupa serbuk kayu pada penelitian ini adalah sebagai rongga antara sampel tanah dengan tanah segar (porositas). Rongga berupa bulking agent ini dapat memberikan aerasi untuk bakteri *Bacillus mycoides* yang bersifat aerob untuk dapat tumbuh dengan baik dan dapat mendegradasi hidrokarbon minyak bumi untuk sumber energi pertumbuhannya. Estuningsih *et al.* (2008) menyebutkan bahwa media bioremediasi menggunakan tanah segar dari sekitar lahan yang terkontaminasi minyak bumi yang diteliti. Tujuan pemberian nutrisi pada media adalah untuk menyediakan nutrisi awal yang dapat dikonsumsi oleh bakteri *Bacillus mycoides* sebelum mendegradasi hidrokarbon minyak bumi untuk kelangsungan hidupnya. Estuningsih *et al.* (2008) melaporkan bahwa rasio C:N:P sebesar 100:5:1 memberikan hasil yang paling baik dalam proses biodegradasi tanah terkontaminasi minyak bumi.

Tabel 1. Penurunan TPH setelah 14 hari waktu inkubasi

| Media | TPHawal | TPH setelah 14 hari waktu inkubasi | % Penurunan |
|-------|----------|------------------------------------|-------------|
| 5,0% | 4,1772% | 2,3679% | 41,18 |
| 7,5% | 6,6009% | 4,5123% | 31,64 |
| 10,0% | 9,8196% | 5,9070% | 39,84 |
| 12,5% | 10,8693% | 6,0223% | 44,59 |
| 15,0% | 13,4163% | 8,0010% | 40,14 |

Rata-rata % penurunan TPH = 39,478



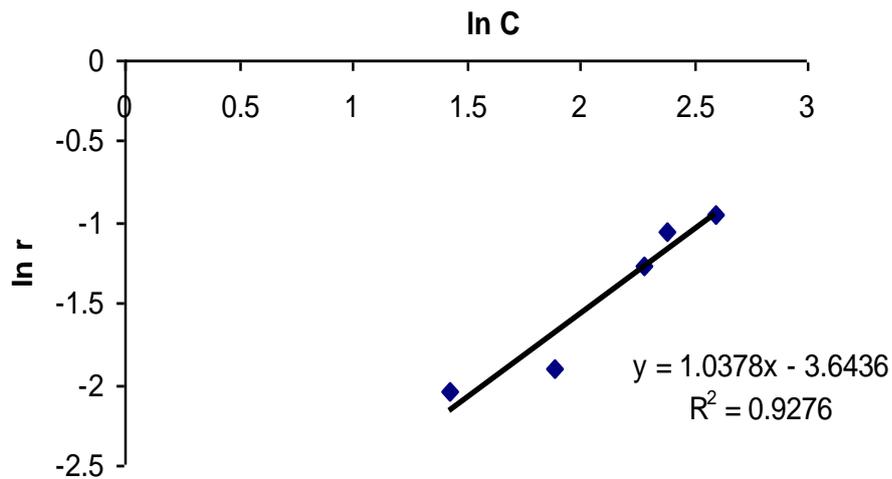
Gambar 1. Grafik penurunan TPH pada media 10%

Tabel 2. Daftar komponen hidrokarbon yang didegradasi oleh *Bacillus mycoides* dari Analisa GC-MS

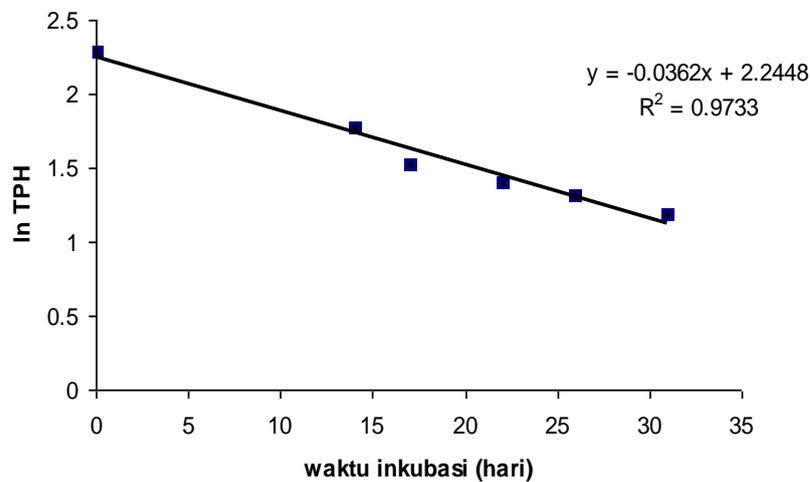
| No | Dugaan senyawa | Waktu retensi | Luas puncak | | %Penurunan luas puncak |
|----|---------------------------------|---------------|-------------|-----------|------------------------|
| | | | TPH awal | TPH akhir | |
| 1 | C ₁₉ H ₄₀ | 19.272 | 11532410 | 51086 | 99,55 |
| 2 | C ₂₁ H ₄₄ | 20.275 | 12235678 | 62664 | 99,48 |
| 3 | C ₂₄ H ₅₀ | 21.227 | 10924657 | 161593 | 98,52 |
| 4 | C ₂₈ H ₅₈ | 23.006 | 8595758 | 22005 | 99,74 |

Rata-rata % penurunan Peak Area = 99,3225%

Keterangan: Angka-angka yang diikuti huruf yang sama pada baris yang sama berarti berbeda tidak nyata pada uji BNT 5%



Gambar 2. Grafik penentuan orde reaksi dengan metode differensial



Gambar 3. Grafik penentuan konstanta laju degradasi dengan metode integral

Untuk menentukan penurunan TPH setiap saat maka dipilih dari media 10% pada hari ke-14, 17, 22, 26 dan ke-31 waktu inkubasi dan disajikan pada Gambar 1. Grafik penurunan TPH tersebut dapat menunjukkan bahwa bakteri *Bacillus mycoides* bekerja dengan baik dalam

mendegradasi limbah minyak bumi yang terkandung dalam media. Selama 31 hari waktu inkubasi bakteri *Bacillus mycoides* mampu menurunkan TPH sebesar 66,5% dengan rata-rata persen penurunan sebesar 2,15% per hari. Penurunan TPH berlangsung sangat cepat pada hari ke-14

waktu inkubasi dengan persen penurunan TPH sebesar 2,82% per hari karena pada awal waktu inkubasi terjadi proses biodegradasi oleh *Bacillus mycoides* dengan menggunakan hidrokarbon minyak bumi yang lebih mudah untuk didegradasi. Menurut Fatima *et al.* (2003), di dalam proses biodegradasi hidrokarbon minyak bumi akan terjadi penguraian fraksi parafinik, naftenik dan aromaik. Parafinik merupakan fraksi yang paling mudah didegradasi, sedangkan naftenik dan aromatik lebih sulit untuk didegradasi. Hal tersebut berkaitan dengan perbandingan bobot unsur-unsur karbon dan hidrogen yang terdapat didalamnya atau perbedaan susunan unsur-unsur karbon dan hidrogen didalam molekul-molekul persenyawaan tersebut (Kim *et al.* 2005).

Identifikasi Senyawa Terbiodegradasi

Data pada Tabel 2 menunjukkan persen penurunan yang signifikan pada setiap puncak yang dibandingkan dengan waktu retensi yang identik. Penurunan luas puncak pada senyawa-senyawa diatas mencapai angka rata-rata 99,3225%. Dugaan senyawa yang dapat didegradasi oleh *Bacillus mycoides* adalah senyawa alkana (C_nH_{2n+2}). Berdasarkan data daftar komponen hidrokarbon yang didegradasi oleh *Bacillus mycoides* dari Analisa GC-MS diatas terlihat bahwa bakteri *Bacillus mycoides* mampu mendegradasi senyawa hidrokarbon rantai panjang. Senyawa hidrokarbon rantai panjang yang dapat didegradasi oleh bakteri *Bacillus mycoides* antara lain $C_{19}H_{40}$, $C_{21}H_{44}$, $C_{24}H_{50}$ dan $C_{28}H_{58}$.

Kinetika Degradasi pada Tanah oleh *Bacillus mycoides*

Untuk menentukan orde reaksi kinetika degradasi tanah lahan suboptimal oleh *Bacillus mycoides* menggunakan metode differensial. Pengujian data hasil pengamatan dari penurunan TPH untuk setiap konsentrasi 5, 7,5, 10, 12,5 dan 15% disajikan dalam grafik penentuan orde reaksi dengan metode differensial (Gambar 2). Laju reaksi biodegradasi (r) ditentukan

dengan menghitung perubahan penurunan TPH tiap waktu (hari) tertentu pada konsentrasi TPH yang terukur (C). Menurut metode differensial kemiringan garis (1,0378) merupakan orde reaksi sehingga disimpulkan orde reaksi biodegradasi adalah orde satu. Untuk menguji keakuratan orde satu ini digunakan metode integral dan sekaligus untuk menentukan konstanta reaksinya.

Metode integrasi untuk orde satu berlaku persamaan:

$$\ln TPH = -kt + \ln TPH_0$$

sehingga konstanta reaksi degradasi (k) dapat ditentukan dengan memplotkan $\ln TPH$ sebagai sumbu- y dengan waktu inkubasi sebagai sumbu- x sehingga diperoleh grafik pada Gambar 3. Dengan kemiringan garis dapat ditentukan konstanta laju degradasi sebesar 0,0361 per hari dan dari intersep diperoleh TPH_0 sebesar 2,25% sehingga diperoleh persamaan laju degradasi:

$$\ln TPH = -(0,0361)t + \ln 2,25$$

Batas ketentuan supaya lahan suboptimal dapat dimanfaatkan apabila kandungan TPH maksimal 1% (KEPMEN Lingkungan Hidup 2003) sehingga dengan persamaan laju degradasi yang diperoleh dapat ditentukan waktu (t) yang diperlukan yaitu sebesar 62,5 hari. Hal ini mempunyai arti bahwa dengan waktu tiga bulan biodegradasi tanah lahan suboptimal yang tercemar minyak bumi sudah dapat dimanfaatkan kembali untuk bercocok tanam.

KESIMPULAN

Bacillus mycoides mampu mendegradasi tanah lahan suboptimal yang terkontaminasi minyak bumi dengan persen penurunan TPH rata-rata sebesar 39,48% dengan orde reaksi satu dan konstanta reaksi 0,0361 per hari serta persen penurunan konsentrasi alkana sampai 99,32%. Penormalan lahan suboptimal tersebut diperlukan waktu minimal tiga bulan.

DAFTAR PUSTAKA

- Edvantoro BB. 2003. Implementasi peraturan tentang pengelolaan limbah B3 dan bioremediasi di Indonesia. *Prosiding Seminar Bioremediasi dan Rehabilitasi lahan Sekitar Perminyakan dan Pertambangan*. Bogor, 20 Februari 2003. Bogor: Forum Bioremediasi IPB.
- Estuningsih SP, Said M, Yudono B, Munawar, Nasrudin. 2008, Kegiatan pengolahan tanah terkontaminasi minyak bumi secara biologis (Bioremediasi) di lapangan Sei Lilin Field Jambi. Pusat penelitian Lingkungan Hidup, Universitas Sriwijaya. Hlm 1-79.
- Fatima MB, Camargo FAO, Okeke B, Frankenberger-Junior WT. 2003. Bioremediation of soil contaminated by diesel oil. *Brazilian Journal of Microbiology* 34(1).
- Herdiyantoro D. 2005. Biodegradasi hidrokarbon minyak bumi oleh *Bacillus* sp. dari Ekosistem Air Hitam Kalimantan Tengah dengan penambahan surfaktan [Tesis]. Bogor: Program Pascasarjana, IPB.
- KEPMEN Lingkungan Hidup. 2003. *Tata Cara Dan Persyaratan Teknis Pengolahan Limbah Minyak Bumi Dan Tanah Terkontaminasi Oleh Minyak Bumi Secara Biologis*.
- Kim SJ et al. 2005. Evaluation of bioremediation effectiveness on crude oil contaminated sand. *Journal ChemoSphere* 59:845.
- Nugroho A. 2006. *Bioremediasi Hidrokarbon Minyak Bumi*. Graha Ilmu Universitas Trisakti, Indonesia
- Santosa DA. 2003. Environmental biotechnology: biotechnology for degradation of oil sampel tanah, remediation of acid rock drainage and detoxification of mercury. *Prosiding Seminar Bioremediasi dan Rehabilitasi Lahan Sekitar Perminyakan dan Pertambangan*. Bogor, 20 Februari 2003. Bogor: Forum bioremediasi IPB.
- Yani M, Fauzi AM, Aribowo F. 2003. Bioremediasi lahan terkontaminasi senyawa hidrokarbon. *Prosiding Seminar Bioremediasi dan rehabilitasi lahan Sekitar Perminyakan dan Pertambangan*. Bogor, Forum Bioremediasi IPB.