

## DEGRADASI HIDROKARBON PADA TANAH TERCEMAR MINYAK BUMI DENGAN ISOLAT A10 DAN D8

Charlena<sup>1)</sup>, Abdul Haris<sup>2)</sup>, Karwati

<sup>1)</sup> Staf Pengajar Departemen Kimia FMIPA Institut Pertanian Bogor

<sup>2)</sup> Staf Peneliti Laboratorium Bioproses LEMIGAS Jakarta

### Abstract

Petroleum pollution could come from spilled during drilling, production, refining, and transportation activities. One of way to overcome petroleum pollution is by bioremediation method. Bioremediation is a natural environment recovery that utilize microorganism activity to degrade hazardous organic compound to another compound like carbon dioxide, biomass, water and side product that are simpler than the original compound. This research was used exogenous bacteria isolate which is A10 and D8 as subject of the process. This isolate applied on 5% (w/w) crude oil contaminated soil. Crude oil hydrocarbon residue was measured using gravimetric method. During five weeks, D8 isolate was able to decrease crude oil contaminant up to 92,23% and A10 isolate up to 60,13%. The GC-MS analysis showed that A10 and D8 isolate degraded crude oil.

**Keywords** : degradation, petroleum pollutant soil, isolate A10 and D8

### 1. PENDAHULUAN

Minyak dan gas bumi merupakan sumber energi utama bagi kegiatan industri, transportasi, dan rumah tangga. Selain itu, minyak bumi merupakan sumber devisa bagi negara. Sebagai sumber energi, minyak bumi memiliki banyak sekali manfaat, tetapi minyak bumi juga dapat mencemari lingkungan darat, air, dan udara.

Minyak bumi termasuk limbah bahan berbahaya dan beracun (B3) jika mengacu pada Peraturan Pemerintah (PP) no. 85 tahun 1999. PP tersebut menegaskan bahwa setiap produsen yang menghasilkan limbah B3 hanya diizinkan menyimpan limbah tersebut paling lama 90 hari sebelum diolah dan perlu pengelolaan lebih baik sehingga tidak menimbulkan pencemaran terhadap lingkungan.

Pencemaran minyak bumi dapat berasal dari tumpahan dan ceceran minyak bumi selama kegiatan pengeboran, produksi, pengilangan, dan transportasi minyak bumi sehingga mengakibatkan gangguan pada keseimbangan ekosistem air, tanah, maupun laut. Peningkatan frekuensi pencemaran akan mengancam kebersihan lingkungan. Bila hal ini tidak segera ditanggulangi, pencemaran akan menjadi tidak terkendali dalam waktu yang singkat (Dirjen Migas 2004).

Salah satu kontaminan yang sulit diurai adalah senyawa hidrokarbon yang berasal dari minyak bumi atau lumpur minyak bumi. Senyawa ini dapat bersifat toksik apabila

terakumulasi dalam tanah. Kegiatan industri dan penggunaan kendaraan bermotor merupakan contoh penyebab terjadinya akumulasi senyawa ini dalam tanah.

Tanah merupakan komponen penting dalam hidup kita. Tanah berperan penting dalam pertumbuhan makhluk hidup, serta memelihara ekosistem dan siklus air. Kasus pencemaran tanah terutama disebabkan oleh pembuangan sampah yang tidak memenuhi syarat, kebocoran limbah cair industri atau fasilitas komersial, kecelakaan kendaraan pangangkut minyak, zat kimia, atau limbah yang tumpah ke permukaan tanah. Ketika suatu zat berbahaya/beracun telah mencemari permukaan tanah, ia dapat menguap, tersapu air hujan, atau masuk ke dalam tanah. Pencemar yang masuk ke dalam tanah kemudian terendap sebagai zat kimia beracun di tanah.

Untuk pertumbuhan diperlukan kondisi tanah yang subur dan bebas pencemar. Adanya kontaminasi senyawa organik atau senyawa kimia lainnya yang sukar diuraikan dan bersifat toksik pada tanah akan menjadi pengganggu bagi pertumbuhan tanaman dan organisme lain yang hidup di dalamnya. Akibatnya, kualitas dan daya dukung lingkungan terhadap makhluk hidup menjadi berkurang (Alexander 1999).

Banyak cara yang dapat dilakukan untuk mengatasi pencemaran minyak bumi. Salah satu cara penanggulangan limbah minyak bumi adalah dengan metode bioremediasi. Bioremediasi telah menjadi teknologi alternatif yang digunakan untuk pengolahan limbah, baik limbah padat maupun cair. Metode tersebut dapat menguraikan limbah minyak bumi menjadi karbon dioksida, air, metana, dan senyawa lain yang lebih sederhana sehingga tidak mencemari lingkungan (Citroreksoko 1996). Penanggulangan limbah minyak bumi dengan cara biologis ini cukup efektif, efisien, ekonomis, dan lebih ramah lingkungan (Udiharto 1990). Melalui kegiatan ini diharapkan lahan atau lingkungan yang tercemar minyak bumi akan menjadi normal kembali.

Penelitian ini bertujuan menentukan pengaruh inokulasi kultur bakteri A10 dan D8 dalam proses biodegradasi minyak bumi, dan mengidentifikasi komponen minyak bumi.

## **2. METODOLOGI PENELITIAN**

### **2.1. Peremajaan Isolat Bakteri**

Peremajaan isolat bakteri dilakukan pada media NB (Lampiran 2). Sebanyak 50 ml NB dimasukkan ke dalam Erlenmeyer 100 ml, disterilisasi dalam autoklaf selama 2 jam, dan didinginkan. Setelah dingin, pemindahan bakteri dilakukan dari media agar miring dengan menggunakan ose secara aseptik. Inokulan tersebut dikocok sampai rapatan optiknya (OD) 0.6.

## 2.2. Pembuatan Kurva Baku Populasi

Kultur hasil peremajaan diencerkan secara aseptik dengan nisbah NB (ml) : isolat (ml) 1:2, 1:4, 1:8, dan 1:16, lalu diukur ODnya dengan spektrofotometer pada panjang gelombang 620 nm, dan diukur populasi bakterinya dengan metode cawan tuang (Hadioetomo 1995). Dari kedua data tersebut dapat dibuat kurva hubungan linear antara rapatan optik dan satuan pembentuk koloni (SPK).

## 2.3. Preparasi Media Tanah

Tanah disterilisasi pada suhu 121 °C selama 15 menit. Kemudian tanah yang sudah steril ditimbang sebanyak 500 g dimasukkan ke dalam wadah kaca sebagai tempat perlakuan. Media tanah tersebut ditambahkan minyak mentah sebanyak 5% (b/b) atau 50000 ppm. Tanah yang sudah terkontaminasi tersebut didiamkan selama 24 jam untuk penstabilan (Dahuru 2003).

## 2.4. Inokulasi Bakteri dan Inkubasi Media

Sebanyak dua ose bakteri diinokulasikan ke dalam 50 ml NB dan diinkubasi goyang dengan waktu OD<sub>0.6</sub>. Kultur diencerkan dengan kaldu nutrisi sehingga diperoleh populasi sebesar 1.10<sup>5</sup> SPK/ml. Sebanyak 1 ml kultur dengan populasi yang telah diketahui dicampurkan ke dalam 30 ml larutan fisiologis. Larutan fisiologis yang berisi bakteri tersebut dicampurkan dengan 49 ml larutan nutrisi dan digoyang.

Larutan nutrisi yang berisi bakteri dicampurkan dengan media tanah dan diaduk sampai homogen. Media tanah terkontaminasi minyak mentah yang telah dicampur bakteri setiap harinya dilakukan homogenisasi dan penambahan air untuk menjaga kelembapan tanah. Selain itu, dilakukan juga perlakuan tanah tanpa bakteri sebagai kontrol. Analisis biodegradasi minyak bumi dilakukan selama 5 minggu dan setiap minggunya dilakukan pengukuran Total Petroleum Hidrokarbon (TPH), pH, dan penambahan urea serta TSP 36.

## 2.5. Pengukuran residu Minyak dari Tanah (Alef & nanpieri 1995; raislid & Burke 2000)

Sebanyak 5 gram tanah diekstrak dengan n-heksana. Kandungan air pada ekstrak tanah dihilangkan dengan menambahkan Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> anhidrat, sedangkan pelarut dihilangkan dengan radas penguap putar. Setelah itu, ekstrak pekat dioven selama 45 menit pada suhu 70 °C, didinginkan dalam eksikator dan ditimbang. Bobot yang terukur adalah bobot minyak dan lemak (*oil and grease*/OG). Sampel hasil pengeringan dilarutkan kembali dengan n-heksana dan ditambahkan silika gel untuk menghilangkan senyawa-

senyawa polar kemudian disaring. Pelarut diuapkan kembali dan dioven. Bobot yang terukur merupakan TPH.

$$\% \text{ Degradasi} = \frac{\text{TPH}_0 - \text{TPH}_n}{\text{TPH}_0}$$

$\text{TPH}_0$  = TPH kontrol minggu ke-0 (g)

$\text{TPH}_n$  = TPH kontrol minggu ke- $n$  (g)

## 2.6. Analisis Komponen Minyak Bumi

GCMS yang digunakan adalah GCMS 8270 dengan kondisi operasi suhu oven 325 °C, volume injeksi 1 µl, tekanan kolom 3.99 psi, dan *flow* 0.7 ml/menit.

## 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

### 3.1. Peremajaan Isolat Bakteri

Setiap bakteri yang akan diaplikasikan harus diremajakan terlebih dahulu dengan tujuan mendapatkan bakteri yang aktif. Hal ini dikarenakan sebelumnya bakteri tersebut berada dalam keadaan inaktif dalam media NA di dalam lemari pendingin.

Setiap isolat memiliki waktu tumbuh yang berbeda-beda. Oleh karena itu, pada tahap ini ditentukan waktu tumbuh isolat mencapai fase eksponensialnya, yaitu suatu fase pertumbuhan yang cepat dan produktif (Pelczar 1986). Fase ini terjadi pada saat rapatan optis (OD) 0.6. Rapatan optik menunjukkan kepadatan bakteri yang terlihat sebagai kekeruhan medium. Waktu tumbuh merupakan waktu yang diperlukan oleh satu sel untuk membelah menjadi dua atau waktu yang dibutuhkan oleh suatu populasi mikroorganisme untuk menggandakan jumlahnya (Lim 1998). Dari hasil penelitian diperoleh waktu tumbuh isolat A10 (5 jam) lebih cepat dibandingkan dengan isolat D8 (8 jam).

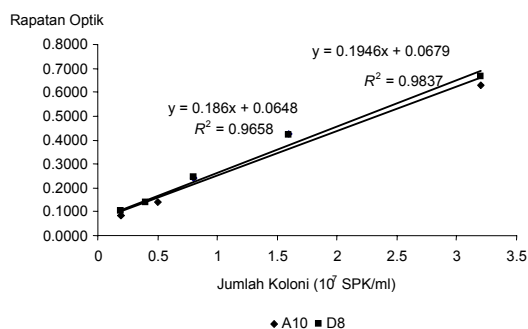
### 3.2. Kurva Baku Populasi

Nilai rapatan optik merupakan hasil perhitungan berdasarkan nilai transmitan. Nilai transmitan yang terukur disebabkan oleh penyerapan sinar atau pemantulan partikel dalam media. Kurva baku populasi digunakan untuk mengetahui waktu inkubasi bakteri saat mencapai fase eksponensial. Selain itu, kurva baku populasi juga dapat digunakan untuk menentukan populasi bakteri yang diinokulasikan pada tanah. Kurva baku populasi A10 dan D8 (Gambar 1) menunjukkan hubungan linear antara nilai OD dan populasi bakteri. Nilai rapatan optik dan populasi isolat A10 dan D8 (Lampiran 3) isolat A10 dinyatakan dengan persamaan garis linear  $Y=0.0648 + 1.8604 \times 10^{-8} X$  dengan nilai  $r = 0.9828$ , sedangkan isolat D8  $Y= 0.0673 + 1.9597 \times 10^{-8} X$  dengan  $r = 0.9919$ .

Koefisien korelasi isolat A10 dan D8 cukup tinggi yaitu 98.28% dan 99.18%, artinya benar bahwa nilai rapat optik dipengaruhi oleh banyaknya populasi bakteri. Makin

kecil jumlah sel dalam suspensi, makin besar intensitas cahaya yang lolos, sehingga makin tinggi pula persen transmittan yang tercatat sehingga nilai OD makin kecil (Hadioetomo 1990).

Berdasarkan nilai rapatan optik stok (0.6676) D8 dan (0.6271) A10, populasi awal stok yang digunakan  $306.10^5$  SPK/ml (D8) dan  $302.10^5$  SPK/ml (A10). Tanah terkontaminasi minyak mentah dihomogenkan dengan diaduk dan didiamkan selama 24 jam untuk penstabilan.



**Gambar 1 Kurva baku populasi isolat A10 dan D8.**

Penentuan jumlah populasi menggunakan metode cawan tuang, yang didasarkan pada anggapan bahwa setiap sel yang dapat hidup akan berkembang menjadi satu koloni. Jadi, jumlah koloni yang muncul pada cawan merupakan suatu indeks bagi jumlah mikroorganisme yang dapat hidup dalam sampel.

### 3.3. Preparasi Media tanah

Media yang digunakan pada penelitian ini adalah tanah yang berasal dari daerah sekitar industri PT Chevron Pacific Indonesia, Riau. Sebelum digunakan tanah dibersihkan dari kontaminan organik, misalnya potongan-potongan akar, dedaunan, serta bahan anorganik. Hal ini dikarenakan kontaminan organik dapat menjadi sumber karbon dan energi yang dapat mendukung pertumbuhan mikrob dalam tanah sehingga mengganggu keseimbangan proses biodegradasi oleh isolat yang sedang diujikan.

Tanah yang sudah bersih kemudian dihancurkan dengan kehalusan tertentu dengan tujuan memperluas permukaan tanah sehingga minyak yang ditambahkan dapat tercampur dengan merata dan kontak isolat dengan minyak saat inkubasi semakin besar. Tanah yang sudah dihaluskan kemudian disterilisasi kering dengan dipanaskan pada suhu  $121\text{ }^{\circ}\text{C}$  selama 15 menit dengan tujuan mematikan mikrob dalam tanah untuk menghindari kompetisi antarisolat pada saat biodegradasi berlangsung. Selain itu, kapasitas air lapang juga ditentukan, yaitu jumlah air yang akan ditambahkan pada proses biodegradasi. Kapasitas air lapang yang diperoleh yaitu  $141.8\text{ ml}/500\text{ g}$  tanah kering.

### 3.4. Inokulasi Bakteri dan Inkubasi Media

Kandungan air sangat penting untuk hidup, tumbuh, dan aktivitas metabolisme mikroorganisme. Tanpa air, mikroorganisme tidak dapat hidup dalam limbah minyak, karena mikroorganisme hidup pada interfase antara minyak dan air. Kadar air yang baik bagi proses bioremediasi berkisar 20-80% dari kapasitas air lapang, yaitu jumlah air yang akan ditambahkan pada proses biodegradasi. Kapasitas air lapang yang diperoleh 141.8 ml/500 g tanah kering.

Mikroorganisme memerlukan nutrisi sebagai sumber karbon, energi, dan keseimbangan metabolisme sel. Penanganan limbah minyak bumi biasanya dilakukan penambahan nutrisi nitrogen dan fosfor sehingga proses penguraian berlangsung lebih cepat dan pertumbuhan mikrob meningkat (Bragg *et al.* 1993). Sebagai sumber nitrogen dan fosfor pada penelitian ini digunakan urea dan TSP 36.

Selain air dan nutrisi, mikroorganisme juga memerlukan oksigen. Tanpa oksigen, mikrob akan berhenti melakukan aktifitasnya dan akhirnya mati. Polutan minyak bumi di permukaan tanah bisa menjadi penghalang bagi mikrob dalam memperoleh oksigen. Pemberian oksigen dilakukan dengan cara mengaduk tanah setiap hari, pengadukan ini juga bertujuan untuk meratakan minyak di dalam media tanah serta mengoptimalkan proses pengolahan secara biologis.

Kontaminan yang digunakan ialah minyak mentah yang akan digunakan sebagai sumber karbon bagi isolat. Hasil analisis awal menunjukkan kandungan TPH minyak mentah sebesar 851.800 ppm. Selain itu, tanah juga dilakukan analisis kandungan TPH-nya dan diperoleh hasil sebesar 1000 ppm.

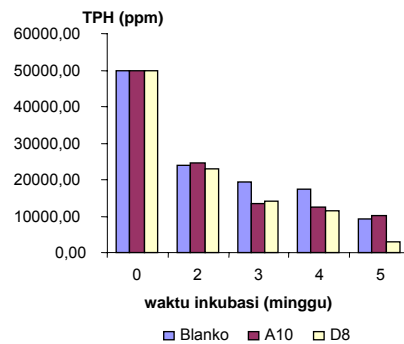
Kadar minyak awal yang digunakan adalah 5% atau 5000 ppm. Hal tersebut didasarkan pada Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup No. 128 tahun 2003 menyatakan bahwa konsentrasi maksimum TPH awal sebelum proses pengolahan biologis tidak lebih dari 15%. Kondisi ini merupakan kondisi yang tidak terlalu toksik untuk aktivitas mikrob.

### 3.5. Pengamatan Kadar TPH dan pH Media

Parameter yang sering digunakan pada proses bioremediasi adalah pengamatan nilai TPH dan pH media. Pengamatan nilai TPH dilakukan selama 5 minggu. Proses biodegradasi dari minggu ke-0 sampai minggu ke-5 menunjukkan adanya penurunan nilai TPH dan kenaikan nilai persen degradasi baik pada blanko maupun yang diberi isolat bakteri. Hasil analisis ini memperlihatkan bahwa kedua bakteri yang digunakan mampu hidup dan mendegradasi minyak bumi yang digunakan sebagai kontaminan.

Gambar 2 menunjukkan adanya penurunan TPH selama 5 minggu inkubasi. Berdasarkan diagram tersebut penurunan TPH terbesar dicapai oleh isolat D8 yaitu dari

50000 ppm pada minggu ke-0 menjadi 2800 ppm pada minggu ke-5. Sedangkan isolat A10 dari 50000 ppm menjadi 10000 ppm. Hal ini karena waktu tumbuh isolat D8 lebih cepat dari isolat A10 sehingga lebih cepat beradaptasi dengan lingkungan percobaan. Mikroba akan mendegradasi hidrokarbon sebagai sumber karbon untuk menghasilkan energi bagi kelangsungan hidupnya dan akan menghasilkan produk berupa gas, asam-asam organik, dan biomassa.



**Gambar 2 Kurva Penurunan TPH**

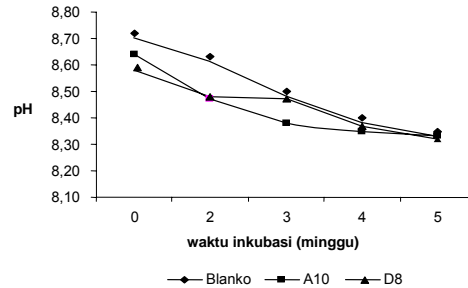
Blanko (tanpa penambahan bakteri) juga mengalami kenaikan persen degradasi. Hal ini diduga karena adanya aktivitas mikroorganisme yang berasal dari media meskipun sudah disterilkan, atau juga disebabkan karena adanya kontaminasi dari luar berupa bakteri dari udara pada saat pengadukan.

Kemampuan isolat A10 masih bisa mendegradasi minyak bumi, artinya proses degradasi belum selesai. Hal ini didasarkan pada nilai persen degradasi yang tidak terlalu besar yaitu 60.13 %.

Keputusan Menteri Lingkungan Hidup No. 128 Tahun 2003 menyatakan bahwa nilai akhir hasil olahan lahan yang tercemar minyak bumi mulai bisa dimanfaatkan lagi jika kadar TPH dalam tanah tersebut sudah mencapai 10000 ppm atau kurang dari 10000 ppm. Dari hasil penelitian ini perlakuan blanko, penambahan isolat baik A10 maupun D8 mempunyai nilai TPH yang sesuai dengan Keputusan Menteri Lingkungan Hidup tersebut, sehingga berdasarkan keputusan tersebut media yang tercemar minyak bumi ini bisa dimanfaatkan lagi.

Gambar 3 menunjukkan Hasil pengamatan pH media, penurunan pH yang terjadi tidak terlalu signifikan, hal ini mungkin disebabkan kurang homogennya pada saat pengambilan sampel untuk diukur pH-nya. Biodegradasi hidrokarbon oleh mikroba akan menghasilkan produk berupa asam-asam organik yang dapat menyebabkan berkurangnya pH. Besarnya penurunan pH berbeda-beda tergantung dari besarnya

presentase biodegradasi dan bakteri pendegradasinya. Semakin meningkat aktivitas mikroba mendegradasi hidrokarbon maka akan semakin meningkat pula jumlah asam-asam organik yang dihasilkan dan semakin besar juga penurunan pH yang dihasilkan.

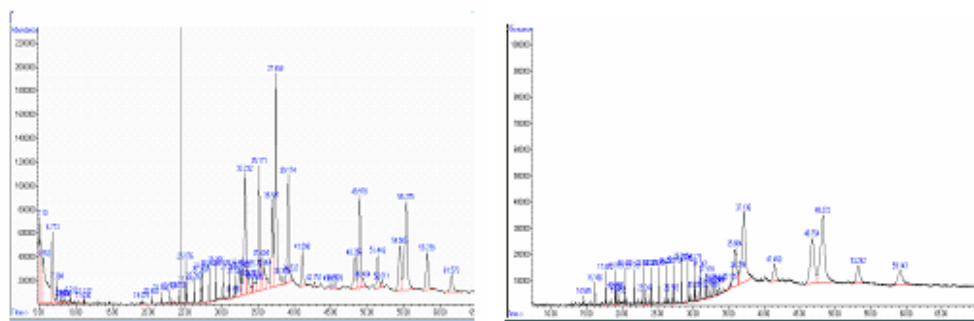


**Gambar 3 Nilai pH selama 5 minggu inkubasi.**

Setiap bakteri juga akan menghasilkan produk jenis asam-asam organik yang berbeda, dan besarnya penurunan pH tergantung dari oksigen yang tersubstitusi pada rantai karbon. Produk asam karboksilat dalam jumlah yang sama akan menghasilkan penurunan pH yang lebih besar dibanding produk berupa aldehyd.

### 3.6. Analisis Komponen Minyak Bumi

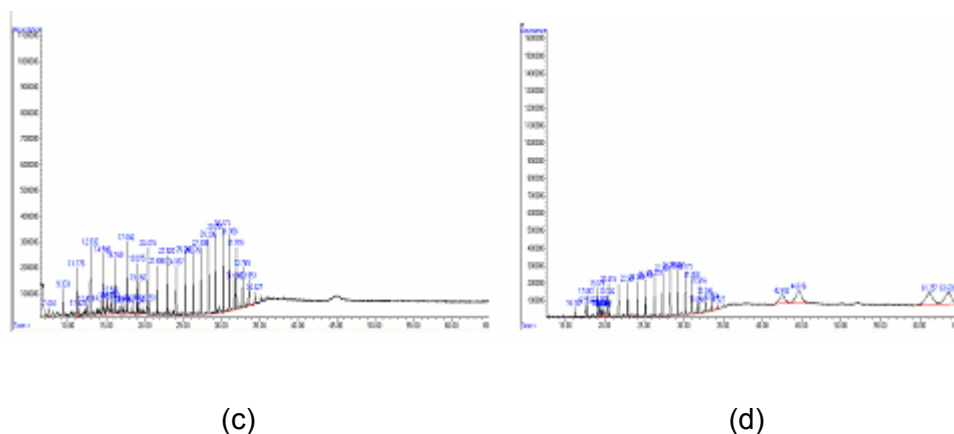
Perubahan struktur minyak bumi sebelum dan setelah dibiodegradasi dapat diketahui dengan menggunakan GCMS. Setelah lima minggu perlakuan, terjadi proses biodegradasi baik pada blanko maupun pada penambahan isolat. Hasil analisis GCMS menunjukkan penambahan isolat menghasilkan respon berupa peningkatan aktivitas degradasi minyak bumi. Respon tersebut dapat diamati dari profil kromatogram (Gambar 4).



(a)

(b)





**Gambar 4** Profil kromatogram GCMS (a) kromatogram minyak bumi hari ke-0, (b) kromatogram minyak bumi dengan penambahan isolat A10 pada minggu ke-5 inkubasi, (c) kromatogram minyak bumi dengan penambahan isolat D8 pada minggu ke-5 inkubasi, dan (d) kromatogram minyak bumi blangko pada minggu ke-5 inkubasi.

**Tabel 1** Hasil GCMS minyak bumi hari ke-0

No	Senyawa	Waktu Retensi	Luas area	Kelompok	Jumlah rantai C-
1	2-metilpentana	2.045	8.33	Parafinik	C-6
2	1.4-dimetilbenzena	5.111	1.27	Aromatic	C-8
3	1.2.4-trimetilbenzena	7.384	0.18	Aromatic	C-9
4	1.3-dietilbenzena	8.592	0.06	Aromatic	C-8
5	undekana	9.334	0.02	Parafinik	C-11
6	Naftalena	11.036	0.01	Aromatic	C-10
7	dodekana	11.178	0.02	Parafinik	C-12
8	heptadekana	19.077	0.01	Parafinik	C-17
9	nonadekana	21.702	0.02	Parafinik	C-19
10	eikosan	22.924	0.02	Parafinik	C-20
11	heneikosan	24.092	0.03	Parafinik	C-21
12	dokosan	25.212	0.03	Parafinik	C-22
13	tetrakosan	27.314	0.07	Parafinik	C-24
14	pentakosan	28.303	0.06	Parafinik	C-25
15	triakontana	29.255	0.06	Parafinik	C-30
16	heptakosana	30.176	0.07	Parafinik	C-27
17	9-oktilheptadekana	31.062	0.08	Parafinik	C-18

Tabel 1 menunjukkan minyak bumi yang digunakan, pada hari ke-0 didominasi oleh golongan parafinik dan aromatik dengan distribusi rantai karbon C-6 sampai C-30. Penambahan isolat A10 (Tabel 2) setelah lima minggu inkubasi, dihasilkan senyawa penyusun minyak bumi yang didominasi oleh kelompok parafinik, diduga bakteri yang digunakan mendegradasi semua senyawa aromatik. Senyawa tetradekana, pentadekana, heksadekana, trikosana, 3-metiloktadekana yang muncul setelah penambahan isolat ini diduga merupakan hasil dari degradasi senyawa penyusun minyak bumi hari ke-0 yang berantai karbon lebih panjang dari senyawa-senyawa tersebut.

Penambahan isolat D8 (Tabel 3) juga mengakibatkan terjadinya proses biodegradasi pada minyak bumi. Hasil analisis GCMS menunjukkan hasil yang lebih beragam, selain golongan parafinik dan aromatik ditemukan juga golongan olefin. Sama halnya isolat A10, isolat D8 juga lebih mendegradasi senyawa aromatik. Tabel 3 menunjukkan bahwa masih ada senyawa aromatik yang muncul, diduga senyawa ini bukan hasil degradasi, melainkan senyawa penyusun minyak bumi yang digunakan, senyawa ini baru muncul setelah lima minggu inkubasi, hal ini disebabkan karena proses pengambilan sampel yang kurang homogen.

Hasil GCMS pada blangko (Tabel 4) diperoleh senyawa penyusun minyak bumi yang didominasi oleh kelompok parafinik dan olefin. Kelompok aromatik yang terdapat pada komponen minyak bumi hari ke-0, pada blangko ini setelah lima minggu inkubasi tidak terdeteksi lagi, pada blangko juga terjadi proses biodegradasi meskipun tidak ada penambahan isolat. Proses biodegradasi pada blangko diduga diakibatkan karena adanya kontaminasi dari luar. Perbedaan rantai karbon pada senyawa penyusun minyak bumi sebelum dan setelah perlakuan menunjukkan bahwa kedua isolat yang digunakan mampu mendegradasi minyak bumi.

**Tabel 2 Hasil GCMS minyak bumi dengan penambahan isolate A10 setelah lima minggu inkubasi**

No	Senyawa	Waktu Retensi	Luas Area	Kelompok	Jumlah rantai C-
1	2-metilpentana	2.042	9.38	parafinik	C-6
2	tetradekana	14.596	0.01	parafinik	C-14
3	pentadekana	16.167	0.02	parafinik	C-15
4	heksadekana	17.662	0.04	parafinik	C-16
5	heptadekana	19.074	0.03	parafinik	C-17
6	2.6.10.14-tetrametilpentadekana	19.159	0.02	parafinik	C-19
7	oktadekana	20.421	0.04	parafinik	C-18
8	nonadekana	21.699	0.03	parafinik	C-19
9	eikosana	22.921	0.04	parafinik	C-20
10	heneikosana	24.089	0.05	parafinik	C-21
11	dokosana	25.209	0.03	parafinik	C-22
12	trikosana	26.280	0.03	parafinik	C-23
13	tetrakosana	27.308	0.05	parafinik	C-24
14	nonakosana	29.252	0.04	parafinik	C-29
15	heptakosana	30.173	0.04	parafinik	C-27
16	3-metiloktadekana	31.690	0.03	parafinik	C-19

**Tabel 3 Hasil GCMS minyak bumi dengan penambahan isolat D8 setelah lima minggu inkubasi**

No	Senyawa	Waktu Retensi	Luas Area	Kelompok	Jumlah rantai C-
1	2-metilpentana	2.048	7.62	parafinik	C-6
2	dekana	7.436	0.02	parafinik	C-10
3	undekana	9.334	0.05	parafinik	C-11
4	dodekana	11.175	0.05	parafinik	C-12
5	2.6-dimetilundekana	11.431	0.02	parafinik	C-13
6	2.6-dimetilheptadekana	12.456	0.02	parafinik	C-19
7	tridekana	12.934	0.08	parafinik	C-13
8	2.6.11-trimetildodekana	14.218	0.01	parafinik	C-15
9	tetradekana	14.596	0.07	parafinik	C-14
10	2.7-dimetilnaftalena	15.150	0.07	aromatik	C-12
11	heksadekana	15.588	0.03	parafinik	C-16
12	dekahidro-4.4.8.9.10-pentametilnaftalena	15.770	0.02	aromatik	C-15
13	pentadekana	16.167	0.06	parafinik	C-15
14	1.6.7-trimetilnaftalena	16.818	0.05	aromatik	C-13
15	1-heksadekena	17.557	0.01	olefin	C-16
16	2.6.10-trimetilpentadekana	18.364	0.02	parafinik	C-18
17	1.6-dimetil-4-(1-metiletil)-naftalena	18.955	0.01	aromatik	C-13
18	heptadekana	19.074	0.05	parafinik	C-17
19	2.6.10.14-tetrametilpentadekana	19.159	0.05	parafinik	C-19
20	oktadekana	20.418	0.07	parafinik	C-18
21	2.6.10.14-tetrametilheksadekana	20.552	0.01	parafinik	C-20
22	nonadekana	21.700	0.05	parafinik	C-19
23	eikosana	22.921	0.06	parafinik	C-20
24	heneikosana	24.086	0.04	parafinik	C-21
25	heptadekana	25.206	0.06	parafinik	C-17
26	trikosana	26.277	0.06	parafinik	C-23
27	tetrakosana	27.309	0.07	parafinik	C-24
28	dokosana	28.297	0.08	parafinik	C-22
29	heptakosana	30.170	0.10	parafinik	C-27
30	heksakosana	31.687	0.07	parafinik	C-26
31	nonakosana	31.917	0.08	parafinik	C-29

**Tabel 4 Hasil GCMS pada blangko setelah lima minggu inkubasi**

No	Senyawa	Waktu Retensi	Luas Area	Kelompok	Jumlah rantai C-
1	2-metilpentana	2.051	10.81	parafinik	C-6
2	pentadekana	16.167	0.01	parafinik	C-15
3	1-heksadekena	17.557	0.02	olefin	C-16
4	heksadekana	17.662	0.03	parafinik	C-16
5	heptadekana	19.074	0.06	parafinik	C-17
6	1-nonadekena	20.333	0.03	olefin	C-19
7	oktadekana	20.418	0.04	parafinik	C-18
8	eikosana	22.921	0.07	parafinik	C-20
9	heneikosana	24.089	0.04	parafinik	C-21
10	dokosana	25.206	0.06	parafinik	C-22
11	tetratriakontana	26.280	0.05	parafinik	C-23
12	tetrakosana	27.308	0.07	parafinik	C-24

No	Senyawa	Waktu Retensi	Luas Area	Kelompok	Jumlah rantai C-
13	pentakosana	28.297	0.06	parafinik	C-25
14	nonakosana	29.252	0.07	parafinik	C-29
15	heptakosana	30.170	0.07	parafinik	C-27

#### 4. SIMPULAN

Mikrob yang hidup dalam lingkungan tercemar hidrokarbon ternyata dapat hidup dan menggunakan hidrokarbon sebagai sumber energinya. Dari hasil penelitian diperoleh bahwa isolat D8 mempunyai persen degradasi yang sangat besar, yaitu 92.23 %. Selain itu, semua perlakuan yang digunakan pada penelitian ini menghasilkan kadar TPH yang sesuai dengan Keputusan Menteri Lingkungan Hidup no. 128 tahun 2003 yaitu  $\leq 10000$  ppm. Isolat A10 dan D8 mampu mendegradasi minyak bumi yang ditunjukkan dengan perubahan struktur minyak bumi menjadi lebih sederhana.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Alef K, Nanpieri P. 1995. *Methods in Applied Soil Microbiology and Biochemistry*. London: Academic Pr.
- Alexander M. 1999. *Biodegradation and Bioremediation*. Ed ke-2. California: Academic Pr.
- Bragg JR, RC Prince, JB Wilkinson, dan RM Atlas. 1993. *Bioremediation for Shoreline Clean Up Following the 1989 Alaskan Oil Spill*. Washington: Office of Research and Development, UESPA.
- Citroreksoko P. 1996. Pengantar Bioremediasi. Di dalam: *Peranan Bioremediasi dalam Pengelolaan Lingkungan. Prosiding Pelatihan dan Lokakarya*; Cibinong, 24-28 Juni 1996. Cibinong: Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia. hlm 1-11.
- Crawford R, Crawford DL. 1996. *Bioremediation Principles and Applications*. Cambridge: Cambridge University Pr.
- Dahuru M. 2003. Pengaruh Mikroorganisme dari Kotoran Kuda dan Surfaktan pada Bioremediasi Tanah Terkontaminasi Minyak Diesel [skripsi]. Bogor: Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor.
- [Direktorat Jendral Minyak dan Gas]. 2001. Keselamatan kerja dan lingkungan. <http://www.migas.info/index.php?lang=id&cat=environmental#sub2> [15 Mei 2004].
- Eweis JB, Ergas SJ, Chang EDDPY, Schoroeder. 1998. *Bioremediation Principles*. New York: McGraw-Hill.
- Hadioetomo RS. 1995. *Mikrobiologi Dasar dalam Praktek*. Jakarta: Gramedia.
- Lim D. 1998. *Microbiology*. Ed ke-2. New York: McGraw-Hill.
- Notodatmojo S. 2005. *Pencemaran Tanah dan Air Tanah*. Bandung: ITB.
- Pelczar MJ Jr, Chan ECS. 1986. *Dasar-dasar Mikrobiologi*. Hadioetomo RS, Imas T, Tjitrosomo SS, dan Angka SL, penerjemah; Jakarta: UI Pr. Terjemahan dari: *Elements of Microbiology*.
- Stegmann R, G Brunner, W Calmano, G Matz. 2001. *Treatment of Contaminated Soil*. New York: Springer.

- Udiharto M. 1992. Aktivitas Mikroba dalam Degradasi Minyak Bumi. *Prosiding Diskusi Ilmiah VII Hasil Pusat Penelitian dan Pengembangan teknologi Minyak dan Gas Bumi (PPPTMGB)*; Cibinong, 13-14 Jun 1992. Jakarta: Lembaga Minyak dan Gas (LEMIGAS).
- Udiharto M, SA Rahayu, A Haris, Zulkifliani. 1995. Peran Bakteri dalam Degradasi Minyak dan Pemanfaatannya dalam Penanggulangan Minyak Buangan. *Prosiding Diskusi Ilmiah VIII (PPPTMGB)*. Jakarta: Lemigas.
- Udiharto M. 1996. Bioremediasi Minyak Bumi. Di dalam: *Peranan Bioremediasi dalam Pengelolaan Lingkungan. Prosiding Pelatihan dan Lokakarya*; Cibinong 24-28 Jun 1996. Cibinong: Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia. hlm 24-39.