

**POTENSI *Azotobacter* sp. ST.04 DAN KOMPOS *Azolla pinata* UNTUK  
MENINGKATKAN EFISIENSI BIODEGRADASI HIDROKARBON  
DALAM PROSES BIOREMEDIASI LIMBAH MINYAK BUMI**

**( The Potential of *Azotobacter* sp. and *Azolla pinata* Komposting to Enhance  
Hydrocarbon Biodegradation Efficiency in the Petroleum  
Waste Bioremediation Process)**

**Pujawati Suryatmana<sup>1</sup> dan Mieke Rochimi Setyawati<sup>1</sup>**

**<sup>1</sup>Staf Pengajar Jurusan Agroteknologi Fakultas Pertanian  
Universitas Padjadjaran**

**Jl. Raya Bandung Sumedang KM 21, Jatinangor (45363), Jawa Barat  
Telp. 022-7797200, Fax. 022-7796316, e-mail: pujawati\_s@yahoo.com**

**ABSTRACT**

The Petroleum hydrocarbon waste is one of Pollutant contributing which cause problem in environmental. *Azotobacter* is a rizobacteria type which is capable fixating dinitrogen. The result investigation showed that *Azotobacter* sp strain AV04 is capable producing many extra-cellulary biomolecul. That strain AV04 known is capable producing a biomolecul which acting as strong bioemulsifier. *Azolla pinata* is a hydro plant that can contributes of N, P dan K nutrition to the Soil. This plant has potentialy as a nutrition organic source. The research was focused on the role of the two agents, i.e. *Azotobacter* sp starin AV04 as the biosurfactan producing bacteria and *Azolla pinata* composted in the biodegradation hydrocarbon processes. Results showed that the Total Petroleum Hydrocarbon (TPH) efficiency in the 1<sup>st</sup> week and 5<sup>th</sup> week, which was in the treatment of 10% (w/w) of *A. pinata* and 2% (v/w) of *Azotobacter* sp starin AV04, was reaching in value 56.15 % and 98.03 % respectively. In the optimum treatment showed that the TPH removal efficiency consistently was significantly rising up as long as 5 week period of bioremediation. The residue compounds of Petroleum after one week period incubation on the optimum treatment were constituting hydrocarbon comprise of 26 species of hydrocarbon compound, while at the same time and in the control treatment founded the hydrocarbon compounds remain were still about 37 species of Hydrocarbon compound.

**Key words:** *Azolla pinata*, *Azotobacter* sp. strain AV04, Biosurfactant, Hydrocarbon Biodegradation, Petrobacter

## PENDAHULUAN

Jenis pencemar yang sampai saat ini masih memerlukan penanganan yang komprehensif di Indonesia maupun di dunia adalah timbunan lumpur minyak (*oil sludge*) sisa destilasi minyak mentah yang tersimpan diberbagai kolam atau tanki penampung oleh perusahaan-perusahaan minyak yang beroperasi di Indonesia. Perusahaan minyak seperti PT. Caltex Pacific, PT. PERTAMINA, PT. UNOCAL, PT. Vico menimbun lumpur minyak antara 400 m<sup>3</sup> sampai 20.000 m<sup>3</sup> per hari (Pertamina, 2005). Lumpur minyak tersebut dikategorikan sebagai bahan berbahaya beracun (B3) yang termasuk sumber spesifik dengan kode kegiatan 2320 menurut Peraturan Pemerintah No. 85/1999 jo No. 18/1999 tentang Pengolahan Limbah B3. Dan biaya pengolahan limbah tersebut diperkirakan US\$ 200-300 (Djuangsih, 1997). Deposit Lumpur minyak tersebut di atas dapat secara langsung ataupun tidak langsung dapat membahayakan manusia dan lingkungan. Limbah minyak bumi disusun dari berbagai senyawa hidrokarbon berantai C2 sampai C44, yang terdiri dari jenis hidrokarbon alifatik dan poliaromatik. Senyawa-senyawa ini bersifat toksik dan sangat sulit terdegradasi. Teknologi yang masih dapat diandalkan dan memiliki prospek untuk mengatasi hal di atas adalah Teknologi Bioremediasi. Keberhasilan proses bioremediasi limbah minyak bumi dapat direpresentasikan oleh peningkatan laju dan efisiensi biodegradasi hidrokarbonnya (Suryamana *et al.*, 2006).

Masalah utama yang menyebabkan minyak bumi sulit

terdegradasi adalah rendahnya derajat kelarutan. Menurut Allen *et al.* (1998) kecepatan degradasi dibatasi oleh transfer masa dari fase padat ke fase cair, dengan demikian tingkat kelarutan hidrokarbon adalah salah satu faktor pembatas yang mempengaruhi kecepatan biodegradasi minyak bumi. Faktor pembatas tersebut berkaitan dengan ketersediaan substrat untuk segera didegradasi oleh mikroorganisme (Allen *et al.*, 1998). Dari masalah yang dihadapi tersebut maka penggunaan senyawa biosurfaktan atau bioemulsifier yang dapat meningkatkan kelarutan hidrokarbon minyak bumi sangat diperlukan. Salah satu mikroorganisme yang memiliki lapisan ekskret yang dapat berfungsi sebagai bioemulsifier/biosurfaktan adalah *Azotobacter* spp. (Suryamana *et al.*, 2006). *Azotobacter* sp. strain AV04 merupakan strain yang sangat potensial menghasilkan biosurfaktan. Kajian potensi biosurfaktan yang diproduksi dari *Azotobacter* dalam bidang bioremediasi sangat menarik dan potensial untuk dikembangkan. Masalah lain dalam penanganan limbah minyak bumi adalah tingkat toksisitas yang tinggi dari hidrokarbon komponen penyusun minyak bumi, kondisi optimum sistem bioremediasi. Faktor tersebut adalah kelembaban, aerasi yang memadai, ketersediaan substrat dan nutrisi yang optimum untuk mendukung aktifitas petrofilik di dalam sistem (Cookson, 1996).

Salah satu alternatif untuk mengatasi permasalahan yang dihadapi dalam penanganan limbah minyak bumi seperti yang telah disampaikan yaitu melalui aplikasi dua agen biologis yang dapat bekerja secara sinergi, yaitu melalui aplikasi

*Azotobacter* sp. strain AV04 penghasil biosurfaktan yang diombinasikan dengan *Azolla piñata* yang telah terkomposkan.

*Azolla piñata* adalah tanaman air yang bersimbiosis dengan Cyanobacteri penambat N<sub>2</sub>. Karakteristik ini mengakibatkan *Azolla piñata* merupakan bahan organik yang kaya akan nutrisi terutama N dan P. Sampai saat ini *Azolla* baru dimanfaatkan sebagai pupuk hijau dan belum dimanfaatkan sebagai *bulking agent* dan nutrisi dalam proses bioremediasi. Tumbuhan *A. pinnata* ini mempunyai kandungan unsur hara, terutama nitrogen sangat tinggi, (Arifin, 2003). *Azolla pinnata* dapat berfungsi sebagai sumber nutrisi bagi petrobacter dan *bulking agent* untuk meningkatkan kinerja proses bioremediasi limbah minyak bumi, melalui peningkatan efektifitas Petrobacter dalam mendegradasi hidrokarbon minyak bumi.

Fokus penelitian adalah peran *Azotobacter* sp. strain AV04 dan *Azolla pinata* dalam meningkatkan efektifitas biodegradasi hidrokarbon limbah minyak bumi dalam proses bioremediasi limbah minyak bumi dalam Sistem *Land Treatment*. Penelitian ini didasarkan pada konsep optimalisasi pemanfaatan keragaman hayati yang tepat yang memiliki potensi dalam mendukung proses bioremediasi limbah minyak bumi, sehingga dapat meningkatkan laju biodegradasi hidrokarbon limbah minyak bumi yang bertujuan untuk percepatan proses dekontaminasi lahan tercemar limbah minyak bumi secara maksimal dan efektif.

## BAHAN DAN METODE

Galur *Azotobacter* sp. strain AV04 yang digunakan dalam penelitian ini diisolasi dari Rhizosfir tanaman jagung area lahan Percobaan Fakultas Pertanian Unpad. Hasil penelitian diketahui bahwa strain ini mampu memproduksi biosurfaktan dalam media yang mengandung substrat glukosa 1-2 %. Sedangkan petrobacter yang digunakan adalah konsorsium dari *Bacillus cereus*, *Enterobacter* sp., *Acinetobacter* sp., *Pseudomonas* sp. Limbah minyak yang digunakan dalam penelitian ini berasal dari tempat deposit limbah di PT. Pertamina Balongan Indramayu. Sedangkan *Azolla pinata* berasal dari daerah Leles dan dikembangkan di Laboratorium Biologi dan Bioteknologi Tanah Faperta Unpad. Tanah Fluventic Eutrudepts asal Jatiningor digunakan sebagai media untuk uji efisiensi bioremediasi limbah minyak bumi.

### **Produksi Kultur *Azotobacter* sp. strain AV04**

Kultur segar *Azotobacter* sp strain AV04 sebanyak 10 % (v/v) diinokulasika kedalam Media Selektif mineral glukosa 2 % (v/v). Inkubasikan dilakukan pada suhu 30°C dengan pengocokan (agitasi) 100 rpm. Pada jam ke 96 dilakukan panen kultur *Azotobacter* sp. strain AV04 yang sudah menghasilkan *Biosurfactan* AV04.

### **Pembuatan Kompos *Azolla pinnata***

*Azolla pinnata* yang digunakan pada percobaan ini yaitu dalam bentuk *A. pinnata* yang sudah dikomposkan. *Azolla pinnata* diinkubasi selama 3 hari dengan 10

% penambahan tanah organik sebagai sumber dekomposer.

### **Pengujian Biodegradasi Hidrokarbon Minyak Selama Proses Bioremediasi**

Pengujian biodegradasi hidrokarbon minyak bumi dilakukan dalam *system Land Treatment Bioremediation*, menggunakan mikrokosmos berukuran panjang 55 cm, lebar 37 cm dan tinggi 19 cm dengan volume 38665 cm<sup>3</sup>. Tanah yang digunakan adalah Fluventic Eutrudepts asal Jatinangor yang diambil sampai kedalaman 25 cm. Percobaan yang dilakukan menggunakan Rancangan Acak Kelompok Pola Faktorial.

Perlakuan terdiri dari 2 faktor yaitu Faktor pertama dosis *A. pinnata* (A) terdiri dari 4 taraf, yaitu :

- a<sub>0</sub> = tanpa *A. pinnata* (0%)
- a<sub>1</sub> = *A. pinnata* (5% wt/ wt)
- a<sub>2</sub> = *A. pinnata* (10% wt/wt)
- a<sub>3</sub> = *A. pinnata* (15% wt/wt)

Faktor kedua dosis *Azotobacter* sp strain AV04 (B) terdiri dari 4 taraf, yaitu :

- b<sub>0</sub> = tanpa *Azotobacter* sp strain AV04 (0%)
- b<sub>1</sub> = *Azotobacter* sp strain AV04 (1% v/wt)
- b<sub>2</sub> = *Azotobacter* sp strain AV04 (2% v/wt)
- b<sub>3</sub> = *Azotobacter* sp strain AV04 (3% v/wt)

Percobaan diulang 3 kali, sehingga diperoleh jumlah mikrokosmos percobaan sebanyak 4 x 4 x 3 = 48 mikrokosmos percobaan.

### **Analisis Respon**

- a. Total Petroleum Hidrokarbon (TPH) setiap interval 7 hari selama proses bioremediasi, dinyatakan dalam (%).
- b. Residu Hidrokarbon sebelum dan sesudah proses bioremediasi

### **Analisis Total Petroleum Hidrokarbon (TPH)**

Isolasi residu total petroleum hidrokarbon (TPH) dari tanah percobaan dilakukan dengan metode Gravimetrik ekstraksi n-heksan (Modifikasi dari Metode Iwabuchi *et al.*, 2002). Pengambilan sampel dilakukan dalam interval 24 jam pada 7 hari pertama dan minggu selanjutnya analisis dilakukan dalam interval 7 hari. Analisis Hidrokarbon komponen penyusun minyak Bumi dengan menggunakan GC/MS dilakukan untuk mengetahui residu hidrokarbon setelah proses bioremediasi berlangsung.

### **HASIL DAN PEMBAHASAN Efisiensi Biodegradasi Hidrokarbon Selama Minggu ke 1 pada Proses Bioremediasi**

Pengaruh *A. pinnata* dan *Azotobacter* sp. strain AV04 ditunjukkan dengan adanya efek interaksi yang signifikan terhadap efisiensi biodegradasi hidrokarbon (Tabel 1 dan 2).

Hasil percobaan dari proses Biodegradasi Hidrokarbon Minyak Bumi pada minggu pertama menunjukkan bahwa pada perlakuan control (tanpa *Azolla pinata*) yang menggunakan *Azotobacter* sp. strain AV04 untuk tiap variasi konsentrasi *Azotobacter* sp. AV 04 menunjukkan efisiensi biodegradasi hidrokarbon yang signifikan dibandingkan tanpa *Azotobacter* sp. strain AV04. Tetapi tidak berbeda nyata meningkatkan efisiensi biodegradasi antar

perlakuan pada variasi konsentrasi *Azotobacter* sp. strain AV04. Pola tersebut juga terjadi pada perlakuan aplikasi *Azolla piñata* dosis 5 %. Sedangkan pada aplikasi *Azolla piñata* 10 %, hasil efisiensi biodegradasi tidak berbeda nyata meningkatkan efisiensi biodegradasi antar perlakuan tanpa *Azotobacter*, *Azotobacter* 1 % dan 3 %. Tetapi berbeda nyata dengan perlakuan *Azotobacter* dosis 2 %. Sedangkan efisiensi biodegradasi pada aplikasi *Azolla pinata* dengan dosis 15 %

tidak memberikan perbedaan nyata antara perlakuan *Azotobacter*. Dan aplikasi tiap taraf *Azolla piñata* memberikan perbedaan nyata dalam meningkatkan efisiensi biodegradasi hidrokarbon untuk taraf perlakuan tanpa *Azotobacter*, 1 % dan 2 % *Azotobacter* sp. strain AV04. Efisiensi biodegradasi hidrokarbon tertinggi diperoleh nilai efisiensi biodegradasi sebesar 56.15 % (Tabel 1).

Tabel 1. Efek *Azotobacter* sp. strain AV04 dan *A. pinnata* terhadap Efisiensi penyisihan total petroleum hidrokarbon (TPH) pada minggu ke-1 selama proses bioremediasi berlangsung

<i>A. pinnata</i>	<i>Azotobacter</i> sp strain AV04			
	(Kontrol)	(1%)	(2%)	(3%)
(Kontrol)	18.33 a A	27.31 a B	35.53 a B	37.10 a B
(5%)	40.16 b A	41.74 b A	45.56 b A	42.14 a A
(10%)	38.47 b A	41.24 b A	56.15 c B	38.82 a A
(15%)	39.77 b A	38.37 b A	43.07 ab A	38.61 a A

Keterangan : Nilai rata-rata yang diikuti dengan huruf yang sama berbeda tidak nyata menurut Uji Jarak Berganda Duncan pada taraf kepercayaan 5 %. Angka yang ditandai huruf kapital dibaca horizontal dan huruf kecil dibaca vertikal.

Hasil percobaan dapat menggambarkan bahwa ternyata kompos *Azolla piñata* yang diaplikasikan dalam sistem bioremeiasi selama periode satu minggu belum mampu mendukung kinerja *Azotobacter* dalam meningkatkan biodegradasi hidrokarbon pada proses bioremediasi yang sedang berlangsung. Kecuali pada dosis *Azolla piñata* 10 % menunjukkan

bahwa kompos *Azolla pinata* mampu meningkatkan kinerja *Azotobacter* sp. strain AV04 pada dosis 2 %, hal ini ditunjukkan dengan nilai efisiensi biodegradasi tertinggi dibandingkan perlakuan lain yang mencapai 56,15 % selama waktu satu minggu proses bioremediasi berlangsung. Hasil seperti yang tersebut di atas disebabkan karena kompos *Azolla piñata* yang diaplikasikan masih

belum terdekomposisi sempurna, sehingga hal ini mengakibatkan bahan organik yang berasal dari *Azolla pinata* belum berperan sebagai bahan organik yang dapat mensuplai nutrisi dan sumber karbon awal yang diperlukan untuk *Petrobacter* dan *Azotobacter* di dalam sistem. Hal ini dapat dikatakan bahwa bahan organik *Azolla* yang ada selama periode satu minggu belum mampu meningkatkan viabilitas dan aktivitas *Azotobacter* dalam perannya menstimulasi proses biodegradasi hidrokarbon minyak bumi yang ada. Sedangkan *Azotobacter* mampu membantu meningkatkan efektifitas kinerja *Petrobacter* tanpa ditambahkan kompos *Azolla piñata*.

**Efisiensi Biodegradasi Hidrokarbon selama minggu ke 5 pada Proses Bioremediasi**

Hasil analisis pada minggu ke 5 pada proses bioremediasi

berlangsung menunjukkan interaksi yang signifikan antar perlakuan *Azotobacter* sp. strain AV0 dengan *Azolla piñata*. Hasil analisis ditampilkan pada Tabel 2.

Penurunan hidrokarbon dari minggu ke-1 sampai ke-5 mengalami proses biodegradasi yang cepat. Perlakuan dengan menggunakan *Azotobacter* sp. strain AV04 yang dikombinasikan dengan *A. pinnata* menunjukkan peningkatan efisiensi biodegradasi Hidrokarbon yang signifikan dibandingkan kontrol. Aplikasi *Azolla pinta* pada dosis 5 % memberikan peningkatan efisiensi yang signifikan apabila ditambahkan *Azotobacter* pada konsentrasi sebesar 3 %. Sementara penggunaan *Azolla piñata* 10 % baru memberikan peningkatan efisiensi secara signifikan apabila ditambahkan *Azotobacter* pada konsentrasi 2 % dan penggunaan *Azolla piñata* pada

Tabel 2. Efek *Azotobacter* sp strain AV04 dan *A. pinnata* terhadap efisiensi penyisihan total petroleum hidrokarbon (TPH) pada minggu ke-5

<i>A. pinnata</i>	<i>Azotobacter</i> sp. strain AV04			
	(Kontrol)	(1%)	(2%)	(3%)
(Kontrol)	70,44 a A	81,18 a C	76,86 a B	78,63 a BC
(5%)	84,39 b A	86,29 b A	87,01 b A	95,73 b B
(10%)	91,64 c A	89,74 c A	98,03 c B	95,56 b B
(15%)	94,99 d A	97,17 d A	95,90 c A	95,04 b A

Keterangan: Nilai rata-rata yang diikuti dengan huruf yang sama berbeda tidak nyata menurut Uji Jarak Berganda Duncan pada taraf kepercayaan 5 %. Angka yang ditandai huruf kapital dibaca horizontal dan huruf kecil dibaca vertikal

konsentrasi 15 % dengan *Azotobacter* sp. strain AV04 pada konsentrasi 3 % tidak meningkat secara signifikan. Efisiensi biodegradasi hidrokarbon terbaik pada minggu ke-5 terjadi pada perlakuan kombinasi *A. pinnata* pada konsentrasi 10 % (w/w) dengan *Azotobacter* sp. strain AV04 pada konsentrasi 2 % (v/w) yaitu dapat mencapai nilai efisiensi biodegradasi sebesar 98,03 % (Tabel 2).

Dari hasil yang telah disampaikan menunjukkan bahwa antara *Azolla piñata* mampu memberikan kontribusi penting dalam menciptakan kondisi sistem bioremediasi limbah minyak bumi. Hal ini terjadi karena *Azolla piñata* berperan sebagai pemasok nutrisi N, P dan K yang efektif bagi *Petrobacter*. Sedangkan *Azotobacter* sp. strain AV04 berkontribusi dalam pemasok nutrisi N dan biosurfaktan, yang dapat mengakibatkan terjadinya kondisi optimal bagi berlangsungnya proses degradasi hidrokarbon minyak bumi. Agent hayati tersebut juga dapat bekerja secara mandiri yang ditunjukkan dengan nilai efisiensi yang signifikan meningkat dibandingkan kontrol. Namun demikian kinerja sistem bioremediasi dapat bekerja secara maksimal apabila kedua agen hayati tersebut diaplikasikan secara bersama dalam kombinasi yang tepat.

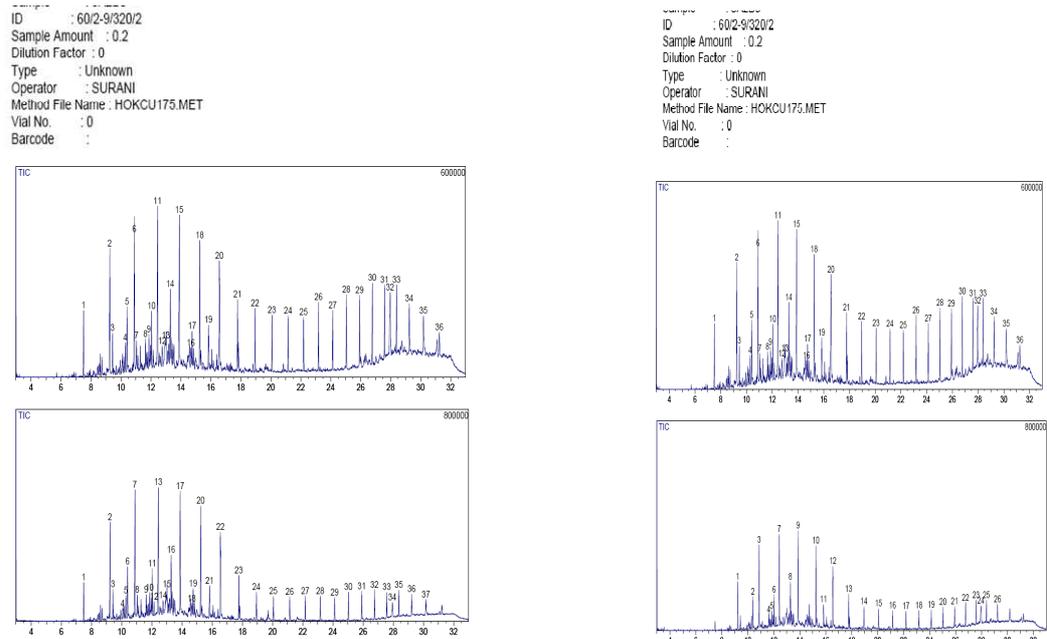
Berdasarkan hasil analisis seperti dijelaskan di atas menunjukkan bahwa kompos yang berasal dari *Azolla pinata* dapat berfungsi sebagai bahan organik yang dapat memberikan kondisi yang baik bagi pertumbuhan dan aktifitas *Azotobacter* sp. strain AV05 selama proses biodegradasi hidrokarbon limbah minyak bumi yang

berlangsung. Hal ini disebabkan bahan organik *Azolla piñata* pada minggu kelima inkubasi sudah mengalami dekomposisi yang sempurna sehingga dapat berperan sebagai bahan pemasok nutrisi N, P dan K serta mikronutrien yang diperlukan untuk aktifitas *Azotobacter* sp. strain AV04. Hasil analisis kompos *Azolla pinata* menunjukkan kandungan makro dan mikronutrien cukup tinggi (Tabel 3.). Kandungan bahan organik yang tinggi dari kompos *Azolla piñata* memberikan kontribusi yang positif bagi *Azotobacter* sp. strain AV04 karena dapat mempertahankan kondisi kelembaban yang diperlukan oleh *Azotobacter*. Di samping itu kandungan P dari kompos *Azolla pinata* juga cukup tinggi, hal ini sangat berperan sebagai sumber fosfat yang diperlukan *Azotobacter* dan petrofilik dalam aktifitasnya mendegradasi hidrokarbon selama proses bioremediasi berlangsung. Cookson, 1996, mengatakan bahwa proses bioremediasi akan berlangsung optimal apabila tersedia kandungan fosfat yang memadai pada taraf perbandingan C : N : P sebesar 100 : 10 : 1. Dengan demikian peran *Azolla piñata* sebagai pemasok N dan P dalam sistem bioremediasi yang berlangsung dapat memenuhi kriteria yang optimal.

## Analisis Senyawa Hidrokarbon Limbah minyak bumi sebelum dan setelah Proses Bioremediasi

Pola karakteristik senyawa residu hidrokarbon setelah proses bioremediasi berlangsung pada

kondisi perlakuan kombinasi taraf terbaik dari *Azolla pinata* dan biosurfaktan AzV04 dibandingkan kontrol, ditampilkan pada Gambar 2 a. dan b.



(a).Minggu 0 dan 1

(b). Minggu 0 dan 1

Gambar 2. Kromatogram hasil analisis perlakuan kontrol (a); dan perlakuan kombinasi taraf terbaik (b), pada inkubasi/ proses bioremediasi minggu 0 dan 1

Senyawa hidrokarbon penyusun limbah minyak bumi terdiri dari 36 spesies senyawa, ke 36 jenis hidrikarbon penyusun tersebut terdiri dari hidrokarbon yang beragam yaitu antara hidrokarbon alifatik yang berantai C antara C 11 sampai C44, dan senyawa alisiklik terdiri dari naftalen hidrokarbon siklo berantai 14. Setelah mengalami proses bioremediasi pada minggu ke 1 dalam kondisi aplikasi hanya menggunakan petrobacter, menunjukkan bahwa hidrokarbon

yang terdeteksi menjadi 37 senyawa. Hal ini menunjukkan pada proses bioremediasi periode waktu satu minggu terbentuk senyawa *intermediate*. Sedangkan pada perlakuan aplikasi *A. pinata* dan *Azotobacter* sp. strain AV04, terdeteksi residu hidrokarbon hanya 26 senyawa. Hal ini menunjukkan bahwa dengan aplikasi kedua agent biologis pada dosis terbaik proses bodegradasi mampu menyisihkan hidrokarbon secara efektif dan

signifikan hanya dalam waktu satu minggu.

#### SIMPULAN

Dari hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa *A. pinata* digunakan sebagai agen bioremediasi yang potensial, karena berfungsi sebagai bahan organik yang menyumbangkan unsur-unsur penting seperti C-organik, N dan P serta mempertahankan kelembaban dan aersai. Kondisi ini memberikan kontribusi terhadap terciptanya lingkungan yang optimal bagi proses biodegradasi hidrokarbon limbah minyak bumi. *Azotobacter* sp. strain AV04 terbukti membantu meningkatkan efisiensi proses degradasi hidrokarbon minyak bumi, karena *Azotobacter* sp. strain AV04 membantu dalam meningkatkan ketersediaan substrat bagi *Petrobacter* akibat adanya mekanisme peningkatan dispersi senyawa hidrokarbon minyak bumi berukuran *large droplet oil* menjadi ukuran *micelle oil* yang mudah segera digunakan petrobacter. Efisiensi biodegradasi TPH tertinggi secara konsisten terjadi pada perlakuan *A. pinnata* dengan konsentrasi 10 % (w/w) dan dengan *Azotobacter* sp. strain AV04 konsentrasi 2 % (v/w). Nilai efisiensi degradasi yang dapat dicapai pada minggu I dan minggu V berturut-turut sebesar 56,15 dan 98,03 %. Pada kombinasi konsentrasi *A. pinata* dan *Azotobacter* sp. strain AV04 yang tepat dapat mengakibatkan kinerja proses bioremediasi berlangsung secara maksimal.

#### UCAPAN TERIMA KASIH

Diucapkan terimakasih kepada Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi Departemen Pendidikan dan Kebudayaan yang

terbukti merupakan bahan organik yang dapat

telah membiayai penelitian ini pada Program Hibah Kompetensi TA. 2012 dan Ir. Made Renayasa di Pertamina Balongan Indramayu yang telah memfasilitasi tersedianya sampel limbah minyak bumi untuk digunakan dalam penelitian ini.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Allen, C.C.R., D.R. Boyd, F. Hemenstall, M.J. Larkin, and N.D. Sarma. 1998. Contrasting Effect of a Nonionic Surfactant on the Biotransformation of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons to *cis*-Dihydrodiols by Soil Bacteria. *Appl. Environ. Microbiol.* 65: 1335-1339.
- Al-Tahhan, R.A., T.R. Sandrin., A.A. Badour, and R.M. Maier. 2000. Thamnolipid Induce Removal of Lipopolysaccharide from *Pseudomonas aeruginosa*: Effect on Cell Surface Properties and Interaction with Hydrophobic Substrate. *Appl. Environ. Microbiol.* 66: 3262-3268.
- Arifin, Z. 2003. Azolla, Pembudidayaan dan Pemanfaatan pada Tanaman Padi. Penebar Swadaya. Jakarta.
- Atlas, R.M., R. Bartha, and Hsu. 1992. *Microbial Ecology: Fundamental and Application* 3<sup>rd</sup> ed. The Benjamin/Cummings Publ.

- Com, Inc. Redwood City, California.
- Atlas, R.M. 2000. Bioremediation of Petroleum Pollutant. *International Biodeterioration & Biodegradation Journal*. 35: 317 – 327.
- Cookson, Jhon, T. 1996. *Bioremediation Engineering Design and Application*, Mc.Graw Hill, Inc, United States of America.
- Djuangsih, N. 1997. Pemanfaatan Limbah Katalis Pasca Perengkahan Minyak Residu untuk Menghasilkan Produk Semen Tersubstitusi dan Filter Aspal Beton yang Aman dan Akrab Lingkungan. *Riset Unggulan Terpadu Menristek*.
- Iwabuchi, N., M. Sunairi, M. Urai, C. Itoh, H. Anzai, and S. Harayama. 2002. Extracellular Polysaccharides of *Rhodococcus rhodochrous* S-2 Stimulate the Degradation of Aromatic Components in Crude Oil by Indigenous Marine Bacteria. *Appl. Environ. Microbiol.* 68: 2337.
- Pertamina. 2005. *Produksi Minyak Nasional*, Majalah Pertamina, IV-5.
- Suryamana, P. 2006. *Biodegradasi Hidrokarbon Minyak Bumi dengan Penambahan Azotobacter Chroococcum Ac04 sebagai Bakteri Penghasil Biosurfactan*. Disertasi Program Studi Teknik Lingkungan Program Pasca sarjana, ITB. Bandung (tidak dipublikasikan).