

BIODEGRADASI SENYAWA HIDROKARBON YANG MENCEMARI TANAH OLEH KONSORSIUM BAKTERI

Ade Sumiardi

Universitas Banten Jaya Serang

fauzanzakidafa@gmail.com

Abstract. Bacterial consortium (combining *Salipiger bermudensis* (DQ 178660), *Alterierythrobacter evoxidivorans* (DQ 304436), *Alteromonas macleodii* (Y 18228), *Vibrio harveyi* (DQ 146936) is a group of soil bacterium that produce biosurfactant as a seconder metabolite. It was characterization, screening and identification for its capacity to utilize the fraction of hydrocarbons. The purpose of this research is to analyze degradation activity of bacterial consortium on hydrocarbon contaminated soil. The research is begun by sample preparation of hydrocarbon contaminated soil, preparation of preculture and culture of bacterial consortium, hydrocarbon extraction also analyze of hydrocarbon from biodegradation process using Gas Chromatography-Mass Spectroscopy (GC-MS). Analysis result of Gas Chromatography – Mass Spectroscopy showed that more than 98% degradation of hydrocarbon by bacterial consortium has been succeeded respectively. It means that bacterial consortium has more capability to degrade soil contaminated hydrocarbon than single bacterium.

Keywords : Biodegradation, bacterial consortium, hydrocarbon compound.

Abstrak. Konsorsium bakteri (gabungan *Salipiger bermudensis* (DQ 178660), *Alterierythrobacter evoxidivorans* (DQ 304436), *Alteromonas macleodii* (Y 18228), *Vibrio harveyi* (DQ 146936) merupakan bakteri hasil karakterisasi, skrining dan identifikasi dari tanah tercemar hidrokarbon minyak bumi di kawasan Cepu Jawa Tengah. Penelitian bertujuan untuk mengetahui kemampuan konsorsium bakteri dalam proses degradasi senyawa hidrokarbon pada tanah tercemar hidrokarbon. Penelitian diawali dengan preparasi sampel tanah tercemar hidrokarbon, pembuatan prekultur dan biakan konsorsium bakteri, ekstraksi senyawa hidrokarbon serta analisis senyawa hidrokarbon hasil biodegradasi menggunakan *Gas Chromatography-Mass Spectroscopy* (GC-MS). Hasil analisis menunjukkan bahwa lebih dari 98% hidrokarbon yang mencemari tanah di kawasan PT. Krakatau Steel Cilegon Banten terdegradasi menjadi fraksi-fraksi penyusun yang lebih sederhana. Konsorsium bakteri memiliki kemampuan lebih unggul dalam merombak senyawa hidrokarbon pada tanah tercemar minyak bumi.

Kata Kunci : Biodegradasi, konsorsium bakteri, senyawa hidrokarbon.

PENDAHULUAN

Laju degradasi mikroorganisme terhadap minyak bumi sangat tergantung pada beberapa faktor yaitu faktor fisik dan lingkungan, faktor konsentrasi dan perbandingan berbagai struktur hidrokarbon yang ada serta kemampuan mikroorganisme pendegradasi (Nugroho, 2006). Proses biodegradasi tergantung dari jumlah mikroorganisme yang cukup untuk merombak senyawa hidrokarbon melalui jalur metabolisme mikroorganisme, oleh karena itu dibutuhkan kehadiran mikroorganisme yang mampu melaksanakan proses dan memproduksi enzim yang dapat merombak senyawa hidrokarbon sebagai senyawa sasarannya, karena tiap jenis mikroorganisme bersifat spesifik dalam menggunakan substrat sehingga hanya mampu merombak senyawa hidrokarbon tertentu dalam kisaran yang terbatas (Harayama, 1995).

Penelitian tentang isolasi dan aplikasi mikroorganisme yang mampu merombak atau menurunkan susunan atau ikatan senyawa organik beracun telah banyak dilakukan. Kulkarni dan Chaudhari (2007) melaporkan bahwa mikroorganisme yang mampu merombak atau menurunkan susunan atau ikatan senyawa organik beracun, mampu melakukan 'evolusi' jalur baru dalam proses metabolismenya. Sasikumar dan Papinazath (2003) menyatakan bahwa eksplorasi lebih lanjut tentang keragaman mikroorganisme mengarah pada penemuan sifat-sifat unik yang sangat berguna dalam proses bioremediasi lahan tercemar hidrokarbon minyak bumi.

Kemampuan mikroorganisme melakukan metabolisme senyawa hidrokarbon dalam proses degradasi minyak bumi dapat diketahui dengan mengamati hilangnya substrat, pengamatan pertumbuhan mikroorganisme pada substrat dan terbentuknya produk akhir (Rosenberg, 1999). Banyak hasil penelitian menunjukkan bahwa pemanfaatan konsorsium mikroorganisme memberikan keuntungan lebih dibandingkan penggunaan biakan murni dalam proses degradasi polutan. Hal ini dikarenakan adanya efek interaksi sinergistik antara masing-masing isolat dalam konsorsium tersebut (Mukred *et al.*, 2008). Ghazali (2001) melaporkan beberapa penelitian menunjukkan bahwa biodegradasi menggunakan biakan campuran bakteri dengan kombinasi yang dinamis dan sinergis memberikan hasil yang lebih baik jika dibandingkan biakan satu species bakteri.

Alexander (1999) menyebutkan bahwa sangat mungkin satu strain mikroorganisme mampu menghilangkan metabolit yang toksik pada sebagiannya dan strain yang lain melengkapi

untuk menyempurnakan proses degradasi sehingga metabolit tersebut menjadi tidak berbahaya. Rambeloarisoa *et al.*, (1984) mendukung teori bahwa komunitas mikroba tertentu memiliki peran signifikan dan keberadaannya di lingkungan sangat tergantung pada keberadaan strain lain atau isolat untuk dapat bertahan hidup. Forgacs *et al.*, (2004) menemukan bahwa isolat dari kultur campuran dapat merombak molekul-molekul polutan pada posisi dan peran yang berbeda-beda, contohnya satu isolat dapat menggunakan produk dekomposisi yang dihasilkan oleh isolat lain untuk proses dekomposisi lebih lanjut. Kompatibilitas isolat adalah faktor penting dalam kultur konsorsium dan penggunaannya harus disesuaikan dengan karakteristik kontaminan pada lingkungan (Gutierrez-Correa *et al.*, 1999).

Interaksi konsorsium mikroorganisme dapat meningkatkan keandalan kemampuan degradasi dan bisa mengurangi keberadaan mikroorganisme patogen pada lingkungan tercemar. Interaksi mikroorganisme juga dapat membantu dalam menyeimbangkan populasi mikroorganisme pada lingkungan sesuai dengan peran masing-masing sehingga terjadi peningkatan kualitas lingkungan yang terkontaminasi dan terbentuk ketahanan sistem mikroorganisme yang lebih baik (Higa, 1999).

Menurut hasil penelitian Adebusoye *et al.*, (2006) bahwa peningkatan populasi mikroorganisme diikuti dengan penurunan kompleksitas minyak bumi secara bertahap menjadi fraksi-fraksi penyusunnya yang lebih sederhana kemudian menghilang terdegradasi secara total pada hari ke-15.

Proses biodegradasi senyawa hidrokarbon sampai sempurna tidak mungkin dilakukan oleh hanya satu jenis mikroorganisme, tetapi selalu dilakukan oleh kumpulan mikroorganisme yang saling berinteraksi secara sinergistik dalam bentuk konsorsium. Tan *et al.*, (1990) menunjukkan peningkatan 3000 kali lipat populasi mikroorganisme pada lahan tercemar tumpahan 1400 galon minyak solar. Bogardt *et al.*, (1992) menunjukkan tanah yang telah tercemar minyak solar atau *creosote* mengandung kepadatan populasi mikroorganisme asli yang lebih tinggi.

Salah satu pendekatan terbaik untuk memulihkan tanah yang telah tercemar adalah dengan menggunakan kemampuan mikroorganisme untuk mendegradasi senyawa-senyawa beracun dalam proses bioremediasi. Namun, telah diketahui bahwa biodegradasi hidrokarbon di dalam tanah dapat terbatas karena banyak faktor, contohnya tipe mikroorganisme, nutrisi, pH, suhu, kelembaban, oksigen, sifat tanah dan konsentrasi kontaminan (Walter *et al.*, 2005). Oleh karena

itu, sangatlah penting dilakukan penelitian tentang studi degradasi senyawa hidrokarbon pada tanah tercemar untuk mengetahui efek sinergistik konsorsium bakteri.

METODE

Penelitian dilakukan 3 tahap yaitu tahap awal (H0) merupakan analisis senyawa hidrokarbon dari tanah tercemar sebelum perlakuan dengan konsorsium bakteri; tahap kedua (H15) merupakan analisis senyawa hidrokarbon dari tanah tercemar setelah perlakuan 15 hari dengan konsorsium bakteri; tahap ketiga (H30) merupakan analisis senyawa hidrokarbon dari tanah tercemar setelah perlakuan 30 hari dengan konsorsium bakteri.

Sampel Tanah

Sampel tanah diambil dan dikumpulkan dari lokasi tercemar di kawasan industri PT. Krakatau Steel, Cilegon, Banten. Kemudian diangkut secepatnya ke laboratorium Pusat Penelitian Bioteknologi LIPI Cibinong. Sampel tanah selanjutnya dibersihkan dari campuran-campuran tanah seperti batu kerikil, dedaunan yang sudah melapuk dan kotoran tanah lainnya. Kemudian dilakukan penimbangan tanah masing-masing sebanyak 2 kg dan dimasukkan pada 23 polibag untuk keperluan analisis tekstur tanah, suhu, pH, nitrogen organik, karbon organik, rasio karbon/nitrogen, posfor dan kalium serta degradasi senyawa hidrokarbon.

Prakultur Bakteri dan Konsorsium Bakteri

Pembuatan Media *Nutrient Agar* (NA)

Media NA dibuat dengan komposisi 10 g pepton, 5 g *beef extract*, 5 g NaCl dan 15 g *agar powder* dalam 1000 mL aquades. Semua bahan tersebut dimasukkan kedalam Erlenmeyer ukuran 2 L, diaduk menggunakan *magnetic stirrer* sampai homogen dan pH dibuat menjadi 7. Erlenmeyer yang sudah berisi media NA kemudian ditutup dengan almunium foil untuk persiapan sterilisasi menggunakan autoklaf pada suhu 121 °C selama 15 menit dan tekanan 2 atmosfer. Media NA yang sudah steril tersebut setelah didiamkan beberapa waktu dipindahkan kedalam 20 cawan petri steril yang sudah disiapkan pada *laminar air flow*.

Pembuatan Stok Kultur Bakteri

20 cawan petri yang sudah berisi media NA selanjutnya ditambahkan pada masing-masing cawan petri tersebut 2 tetes *crude oil* steril. Setelah *crude oil* diratakan menggunakan *spreader*, kultur konsorsium bakteri yang sudah disiapkan (gabungan *Salipiger bermudensis* (DQ 178660), *Alterierythrobacter evoxidivorans* (DQ 304436), *Alteromonas macleodii* (Y 18228), *Vibrio harveyi* (DQ 146936) diambil dengan menggunakan ose selanjutnya ditumbuhkan pada media NA pada cawan petri secara *streak plate* pada suhu 37°C selama 72 jam. Perlakuan dilakukan secara *triplo*. Setelah konsorsium bakteri diketahui tumbuh pada masing-masing cawan petri, kemudian disimpan dalam ruangan pendingin pada 0°C sebagai stok untuk digunakan pada proses kultivasi konsorsium bakteri selanjutnya.

Kultur Konsorsium Bakteri

Pembuatan Media *Nutrient Broth* (NB)

Media NB dibuat dengan komposisi 35 g pepton, 17,5 g *beef extract*, 17,5 g NaCl. Semua bahan tersebut dimasukkan kedalam Erlenmeyer kemudian ditambahkan 3500 mL aquadest, dilarutkan sampai homogen menggunakan *magnetic stirrer* diatas *hot plate* dan disesuaikan pHnya menjadi 7. Media NB kemudian dipindahkan masing-masing 150 mL kedalam Erlenmeyer 250 mL, disumbat dengan kapas, ditutup dengan kertas kemudian diikat dengan karet. Media NB siap disterilisasi menggunakan autoklaf pada suhu 121°C dan tekanan 2 atmosfer selama 15 menit.

Kultivasi Bakteri

Media NB yang sudah disterilisasi dan didinginkan, ditambahkan 2 ose konsorsium bakteri (gabungan *Salipiger bermudensis* (DQ 178660), *Alterierythrobacter evoxidivorans* (DQ 304436), *Alteromonas macleodii* (Y 18228), *Vibrio harveyi* (DQ 146936), kemudian diinkubasi diatas *shaker* selama 5 hari pada suhu kamar (30°C) dengan kecepatan 200 rpm.

Kurva Pertumbuhan Bakteri

Konsorsium bakteri yang ditumbuhkan dalam masing-masing Erlenmeyer, setiap 24 jam sekali dilakukan *sampling* sebanyak 1 mL kedalam tabung *ependorf* secara aseptik menggunakan mikropipet didalam *laminar air flow*. Sampel yang diambil tersebut kemudian

diukur *optical density* (OD) menggunakan spektrofotometer UV-VIS pada panjang gelombang 660 nm untuk mengetahui pola pertumbuhan bakteri.

Preparasi Sampel Tanah

Sampel tanah yang sudah dibersihkan dari kotoran, dilakukan penimbangan sebanyak 2 kg kemudian dimasukkan pada 23 polibag. Konsorsium bakteri (gabungan *Salipiger bermudensis* (DQ 178660), *Alterierythrobacter evoxidivorans* (DQ 304436), *Alteromonas macleodii* (Y 18228), *Vibrio harveyi* (DQ 146936)) masing-masing sebanyak 200 mL dituangkan kedalam setiap polibag yang berisi tanah tercemar senyawa hidrokarbon kemudian dilakukan homogenisasi. Dilakukan sampling sebanyak 200 g untuk analisis suhu dan pH setiap 5 hari kemudian disimpan di ruang pendingin bersuhu 0°C untuk kepentingan analisis degradasi senyawa hidrokarbon oleh konsorsium bakteri.

Ekstraksi Senyawa Hidrokarbon

Sampel tanah tercemar senyawa hidrokarbon ditimbang sebanyak 3 g, kemudian dimasukkan kedalam tabung reaksi bertutup *teflon*, ditambahkan dichloromethane (CH_2Cl_2) 6 mL selanjutnya divortex selama 15 menit sampai homogen dan gasnya dibuang keudara. Dilakukan penggojokan selama 15 menit untuk memisahkan senyawa hidrokarbon dari campuran tanah dan gasnya dibuang keudara. Didiamkan selama 10 menit kemudian dilakukan penyaringan dengan kertas saring *Whatman* nomor 1. Penyaringan dilakukan sebanyak dua kali untuk mendapatkan senyawa hidrokarbon. Kemudian ditambahkan sodium anhidrat sebanyak 2 g dan dikocok. Larutan dipindahkan ke botol vial untuk kepentingan analisis degradasi senyawa hidrokarbon.

Analisis Senyawa Hidrokarbon dengan Kromatografi Gas - Spektrometer Massa (GC-MS)

Setiap sampel yang digunakan sebanyak 2 μL , kemudian diinjeksikan dalam GC-MS dengan kondisi Karakteristik GC-MS (Shimadzu tipe QP2010S, suhu injektor 280 °C, injektor *mode split*, waktu pengambilan sampel 1 menit, suhu kolom 40 – 270°C dengan pengaturan suhu awal 40°C ditahan selama 5 menit, dan waktu 10 menit untuk mencapai suhu 270°C (23°C/menit) ditahan selama 60 menit, sehingga total waktu program 88 menit, suhu detektor 280°C, suhu interval 250°C, gas pembawa He, tekanan utama 500-900, *flow control mode*

pressure, tekanan 10,9 Kpa, total *flow* 58,8 mL/m, jenis kolom kapiler, aliran kolom 0,55 mL/m, percepatan linier 26,0 cm/dt, aliran pembersihan 3.0 mL/m, *split ratio* 99,8, jenis kolom Rtx-5MS, panjang kolom 30.00 m, ketebalan 0.25 μ m, diameter 0,25 mm, dan jenis pengion EI (*Electron Impact*) 70 eV.

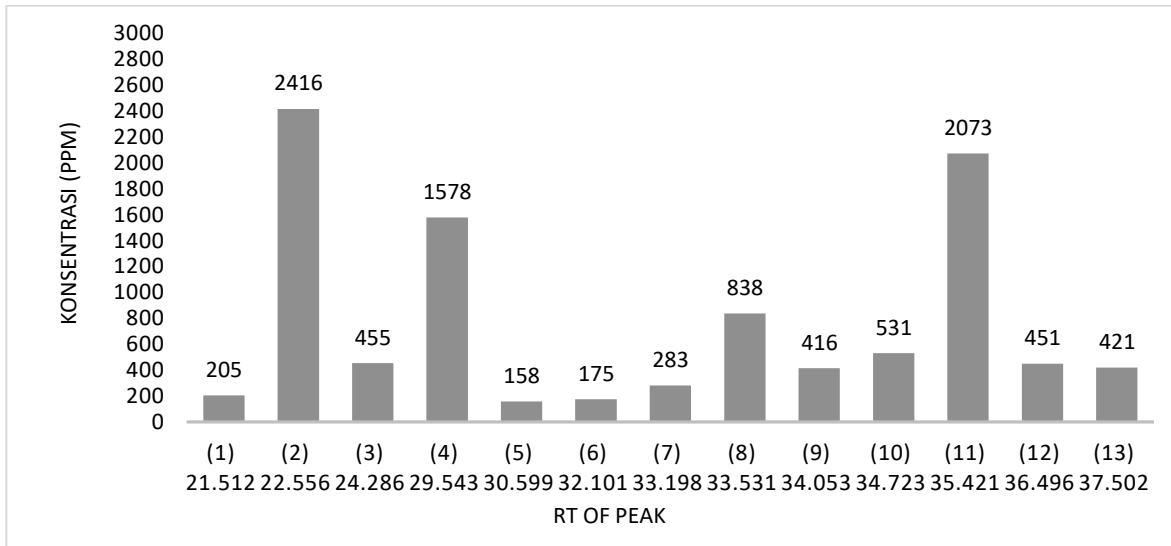
HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil penelitian studi laju degradasi senyawa hidrokarbon pada tanah tercemar adalah sebagai berikut :

A. Tanpa Perlakuan Konsorsium Bakteri

Tabel 1. Hasil analisis GC-MS senyawa hidrokarbon tanpa perlakuan konsorsium bakteri.

<i>Peak</i>	H0, Awal Perlakuan			
	<i>RT of Peak</i>	<i>Area (%)</i>	<i>Konsentrasi (ppm)</i>	<i>Nama Compound</i>
1	21.512	2.05	205.00	<i>2,5-Cyclohexadiene-1,4-dione</i>
2	22.556	24.16	2416.00	<i>Dibenzothiopene</i>
3	24.286	4.55	455.00	<i>Trihexadecyl borate</i>
4	29.543	15.78	1578.00	<i>1,2-Benzenedicarboxylic acid, diisooctyl ester</i>
5	30.599	1.58	158.00	<i>1,2-Benzediol</i>
6	32.101	1.75	175.00	<i>2-Amino-1-(o-methoxyphenyl) propane</i>
7	33.198	2.83	283.00	<i>Phenethylamine</i>
8	33.531	8.38	838.00	<i>4-Dicyanomethylene 2-(4-dimethylaminostyryl)-6-phenyl-4H-pyrene</i>
9	34.053	4.16	416.00	<i>Cyclotrisiloxane, hexamethyl-</i>
10	34.723	5.31	531.00	<i>Acetic acid,3-(6-aminopurin-9-yl)propyl ester</i>
11	35.421	20.73	2073.00	<i>Benzenemethanol, 3-hydroxy-alpha</i>
12	36.496	4.51	451.00	<i>Acenaphthenedione, methylamine, N-oxide</i>
13	37.502	4.21	421.00	<i>Trans 1,2-Bis (trichlorosilyl) ethylene</i>



Gambar 1. Konsentrasi (ppm) *peak* hasil analisis GC-MS senyawa hidrokarbon pada awal perlakuan.

Keterangan :

- (1) *2,5-Cyclohexadiene-1,4-dione*
- (2) *Dibenzothiophene*
- (3) *Trihexadecyl borate*
- (4) *1,2-Benzenedicarboxylic acid, diisooctyl ester*
- (5) *1,2-Benzenediol*
- (6) *2-Amino-1-(o-methoxyphenyl) propane*
- (7) *Phenethylamine*
- (8) *4-Dicyanomethylene-2-(4dimethylaminostyryl) -6-phenyl-4H-pyran*
- (9) *Cyclotrisiloxane, hexamethyl-*
- (10) *Acetyc acid, 3-(6-aminopurine-9-yl)prophyl ester*
- (11) *Benzenemethanol, 3-hydroxy-alpha*
- (12) *Acenaphthene dione, methylamine, N-oxide*
- (13) *Trans 1,2-bis (trichlorosilyl) ethylene*

Gambar 1 menunjukkan ada 13 senyawa hidrokarbon ditemukan pada pengamatan awal perlakuan. Berdasarkan volume konsentrasi dan luas area, senyawa *Dibenzothiophene* adalah hidrokarbon terdeteksi paling besar volume konsentrasi dan luas area (konsentrasi 2416,00 ppm; luas area 24.16%). Senyawa *1,2-Benzediol* adalah hidrokarbon terdeteksi paling kecil volume konsentrasi dan luas areanya (konsentrasi 158,00 ppm; luas area 1.58%).

Senyawa *Dibenzothiophene* dan senyawa *1,2-Benzedirole* adalah senyawa hidrokarbon aromatik dan poliaromatik dengan struktur siklik bervariasi mengandung nitrogen organik dan oksigen yang satu sama lain saling berikatan. Arun *et al.*, (2011), mengatakan bahwa senyawa hidrokarbon yang terkandung dalam minyak bumi merupakan entitas heterogen, terdiri dari rantai hidrokarbon panjang yang bervariasi dengan kandungan ratusan senyawa hidrokarbon yang berbeda seperti parafin, naphthenes, aromatik serta senyawa sulfur organik, senyawa nitrogen organik dan oksigen yang mengandung hidrokarbon (fenol).

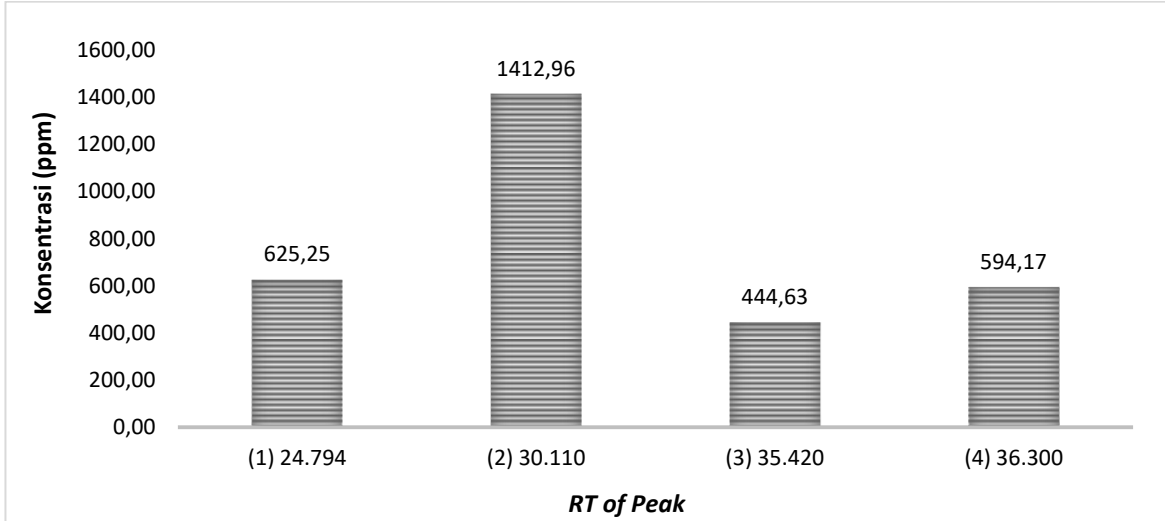
Gambar 1 memperlihatkan bahwa senyawa terdeteksi GC-MS seluruhnya adalah senyawa *Poly Aromatic Hydrocarbons* (PAHs). PAHs adalah kelompok besar senyawa hidrokarbon yang memiliki kemiripan karakteristik. Ivey (2006) melaporkan bahwa senyawa PAHs meliputi senyawa berat molekul tinggi dengan tingkat solubilitas air yang rendah, memiliki 2 sampai 5 cincin aromatik yang mengikat dan relatif lebih sulit terdegradasi secara biologi.

Degradasi PAHs dengan struktur benzene lebih dari 3 umumnya sulit untuk dimineralisasi oleh mikroorganisme karena rendahnya daya solubilitas dan tingginya daya afinitas menjadi senyawa organik cair. Tingkat solubilitas air yang rendah dan daya afinitas elektron yang tinggi pada PAHs umumnya menjadi faktor pembatas keberadaan mikroorganisme di dalam tanah.

B. Perlakuan Dengan Konsorsium Bakteri

Tabel 2. Hasil analisis GC-MS senyawa hidrokarbon dengan perlakuan konsorsium bakteri hari ke-15.

<i>Peak</i>	H15, Konsorsium Bakteri			
	<i>RT of Peak</i>	Area (%)	Konsentrasi (ppm)	Nama <i>Compound</i>
1	24.794	20.32	625.25	<i>Furo[2,3-c]pyridine, 2,3-dihydro-2,7-dimethyl-</i>
2	30,110	45.92	1412.96	<i>Benzo (d)1,3-dioxolane-5-carboxamide</i>
3	35.420	14.45	444.63	<i>Benzenemethanol, 3-hydroxy-alpha</i>
4	36.300	19.31	594.17	<i>Acenaphthenedione methylamine, N-oxide</i>



Gambar 2. Konsentrasi (ppm) *peak* hasil analisis GC-MS senyawa hidrokarbon dengan perlakuan konsorsium bakteri hari ke-15.

Keterangan :

- (1) *Furo[2,3-c]pyridine, 2,3-dihydro-2,7-dimethyl-*
- (2) *Benzo[d]1,3-dioxalane-5-carboxamide, N-hydroxy-N-(2-hydroxypropyl)-*
- (3) *Benzenemethanol, 3-hydroxy-alpha*
- (4) *Acenaphthenedione, methylamine, N-oxide*

Gambar 2 menunjukkan bahwa ada 4 senyawa hidrokarbon diketahui pada pengamatan hari ke 15 meliputi senyawa *Furo[2,3-c]pyridine, 2,3-dihydro-2,7-dimethyl-*, senyawa *Benzo[d]1,3-dioxalane-5-carboxamide, N-hydroxy-N-(2-hydroxypropyl)-*, senyawa *Benzenemethanol, 3-hydroxy-alpha* dan senyawa *Acenaphthenedione, methylamine, N-oxide*.

Histogram pada Gambar 2 memperlihatkan bahwa senyawa *Benzo[d]1,3-dioxalane-5-carboxamide, N-hydroxy-N-(2-hydroxypropyl)-* merupakan hidrokarbon yang terdeteksi paling besar volume konsentrasi dan luas areanya (konsentrasi 1412.96 ppm; luas area 45.92%). Senyawa *Benzenemethanol, 3-hydroxy-alpha* merupakan hidrokarbon yang terdeteksi paling kecil volume konsentrasi dan luas areanya (konsentrasi 444.63 ppm; luas area 14.45%).

Konsorsium bakteri menunjukkan aktivitas biodegradasi untuk senyawa hidrokarbon *Benzenemethanol, 3-hydroxy-alpha* dan *Acenaphthenedione, methylamine, N-oxide*. Senyawa *Benzenemethanol, 3-hydroxy-alpha* mengalami penurunan konsentrasi sebesar 1.628,37 ppm

dibanding pengamatan hari ke-0. Senyawa *Acenaphthenedione*, *methylamine*, *N-oxide* mengalami penurunan konsentrasi sebesar 143 ppm dibanding pengamatan hari ke-0.

Peak (puncak) yang tidak muncul pada kromatogram menunjukkan adanya aktivitas konsorsium bakteri dalam menggunakan senyawa hidrokarbon sebagai sumber karbon untuk proses pertumbuhan. Senyawa hidrokarbon didegradasi oleh konsorsium bakteri melalui pembentukan enzim-enzim pendegradasi menjadi fraksi-fraksi hidrokarbon yang lebih sederhana. Chaineau *et al.*, (2005), melaporkan bahwa bahwa implikasi biodegradasi hidrokarbon oleh konsorsium bakteri bersifat selektif tergantung persediaan nutrisi. Kekurangan nutrisi pada proses biodegradasi hidrokarbon seperti PAH dapat mempengaruhi stimulasi degradasi oleh konsorsium bakteri.

Hasil analisis degradasi senyawa hidrokarbon oleh konsorsium bakteri selama 30 hari pengamatan sudah tidak ditemukan lagi peak-peak pada kromatogram (rata dengan sumbu aksis atau waktu retensi). Mukred *et al.*, (2008), melaporkan bahwa pemanfaatan konsorsium mikroorganisme memberikan keuntungan yang cukup besar dibanding penggunaan biakan murni dalam proses degradasi polutan. Hal ini karena adanya efek interaksi sinergistik antara masing-masing bakteri dalam konsorsium tersebut. Rambeloarisoa *et al.*, (1984) juga melaporkan bahwa setiap strain dalam komunitas mikroba memiliki peran signifikan dan keberadaannya di lingkungan sangat tergantung pada keberadaan strain lain untuk dapat bertahan hidup.

Jadi proses degradasi senyawa hidrokarbon menggunakan konsorsium mikroorganisme terseleksi lebih efektif dibanding menggunakan biakan murni sebagaimana yang dilaporkan Sharma & Rehman, (2009), bahwa proses bioremediasi oleh konsorsium bakteri merupakan pilihan lebih baik pada tanah yang terkontaminasi hidrokarbon minyak bumi.

KESIMPULAN

Biodegradasi senyawa hidrokarbon pada tanah tercemar dengan perlakuan konsorsium bakteri menunjukkan bahwa konsorsium bakteri memiliki kemampuan dalam merombak senyawa hidrokarbon sebagai sumber karbon untuk pertumbuhan.

Hasil analisis degradasi hidrokarbon menggunakan *Gas Chromatography-Mass Spectroscopy* (GC-MS) menunjukkan bahwa lebih dari 98% hidrokarbon yang mencemari tanah di kawasan PT. Krakatau Steel Cilegon Banten terdegradasi menjadi fraksi-fraksi penyusun yang

lebih sederhana. Konsorsium bakteri memiliki kemampuan lebih unggul dalam merombak senyawa hidrokarbon pada tanah tercemar minyak bumi.

DAFTAR RUJUKAN

- Adebusoye, S.A., M.O. Ilori, O.O. Amund, O.D. Teniola, & S.O. Olatope. 2006. Microbial Degradation of Petroleum Hydrocarbons in a Polluted Tropical Stream. *J. American Sci.*, 2 : 3.
- Alexander M., 1999. Biodegradation and Bioremediation. *Publisher Academic Press*. San Diego. USA.
- Arun, K., M. Ashok, & S. Rajesh, 2011. Crude Oil PAH Constitution, Degradation Pathway and Associated Bioremediation Microflora: An Overview. *Int. J. Environ. Sci.*, Vol. 1 : 7.
- Bogardt, A.H., & B.B. Hemmingsen. 1992. Enumeration of Phenanthrene-Degrading Bacteria by an Overlayer Technique and Its Use in Evaluation of Petroleum-Contaminated Sites. *J. Appl. Environ. Microbiol.*, 58 : 2579-2582.
- Chaineau, C.H., G. Rougeux, C. Yepremian, & J. Oudot, 2005. Effect of Nutrient Concentration on the Biodegradation of Crude Oil and Associated Microbial Population in the Soil. *J. Soil Biology and Biochem.*, 37 : 1490.
- Forgacs, E., T. Cserhati & G. Oros. 2004. Removal of Synthetic Dyes from Wastewaters : a Review. *Environ. Int.* 30 : 953-971.
- Ghazali, F.M., R.N.Z.A. Rahman, A.B. Salleh & M. Basri, 2004. Biodegradation of Hydrocarbons in Soil by Microbial Consortium. *Int. Biodet. & Biodeg.*, 54 : 61.
- Gutierrez-Correa M., L. Portal, P. Moreno & R.P. Tengerdy. 1999. Mixed Culture Solid State Substrate Fermentation of *Trichoderma reesie* with *Aspergillus niger* on Sugar Cane Bagasse. *Biores. Technol.* 68 : 173-178.
- Harayama, S.K., 1995. Biodegradation of Crude Oil. Programe and Abstract in the *First Asia-Fasific Marine Biotechnology Conference*. Shimizu. Shizuoka. Japan.
- Higa, T. 1999. Effective Microorganisms in the Context of Kyusei Nature Farming – a Technology for the Future. In *Proceedings of the 6th*

- Int.Con. on Kyusei Nature Farming.*
South Africa. 327.
- Ivey, G.A., 2006. Surfactant Enhanced Bioremediation – *Remediation Weekly*.
- Kulkarni, M. & A. Chaudhari. 2007. Microbial Remediation of Nitro-Aromatic Compounds : an Overview. *J. Environ. Management.* **2** : 496-512.
- Mukred, A.M., A.A. Hamid, A. Hamzah & W.M. Yusoff. 2008. Development of Three Bacteria Consortium for the Bioremediation of Crude Petroleum-Oil in Contaminated Water. *Online J.Biol. Sci.*, 4 : 73-79.
- Nugroho, A., 2006. Bioremediasi Hidrokarbon Minyak Bumi. *Graha Ilmu*, Yogyakarta.
- Rosenberg, E., 1999. High and Low Molecular-Mass Microbial Surfactant. *J. Appl. Microbiol. Biotechnol.*, 52:154-162.
- Rambeloarisoa E, J.F. Rontani, G. Giusti, Z. Duvnjak, & J.C. Bertand, 1984. Degradation of Crude Oil by a Mixed Population of Bacteria Isolated from Sea-Surface Foams. *Mar. Biol.*, 83 : 69-81.
- Sasikumar, C.S. & T. Papinazath. 2003. Environmental Management : Bioremediation of Polluted Environment. Martin J. Bunch, V. Madha Suresh & T. Vasantha Kumaran, eds., *Proceedings of the 3rd Int. Conference on Environ. and Health*. Chennai. India. 465 – 469.
- Sharma, A., & M.B. Rehman. 2009. Laboratory Scale Bioremediation of Diesel Hydrocarbon in Soil by Indigenous Bacterial Consortium. *Indian J. Experiment. Biology*, 47 : 766-769.
- Tan, C.K., G. Gomez, Y. Rios, M.N. Guentzel, & J. Hudson. 1990. Case Study: Degradation of Diesel Fuel with *in-situ* Microorganisms. *Superfund '90. Proceedings of the 11th National Conference*. 776-779.
- Walter, M., K.S.H. Boyd-Wilson, D. McNaughton, & G. Northcott. 2005, Laboratory Trials on the Bioremediation of Aged Pentachlorophenol Residues. *Int. Biodet. & Biodeg.*, 55 : 121.