

BIODEGRADASI SENYAWA HIDROKARBON YANG MENCEMARI TANAH OLEH *Alteromonas macleodii* (Y 18228) DENGAN STIMULASI *FERTILIZER*

Ade Sumiardi

Departemen Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik, Universitas Banten Jaya Serang

Email :fauzanzakidafa@gmail.com

Abstract: *Alteromonas macleodii* (Y 18228) is one of soil bacterium that produce biosurfactant as a seconder metabolite. It was isolated and identficated for its capacity to utilize the fraction of hydrocarbons. The purpose of this research is to analyze degradation activity of *Alteromonas macleodii* (Y 18228) on hydrocarbon contaminated soil. *Alteromonas macleodii* (Y 18228) was used as a model to degrade hydrocarbon and it was detected by GC-MS. Adding of fertilizer as a nutrient into soil is believed to enhanced in situ biodegradation by stimulating the growth of bacterium to degrade hydrocarbon contaminated soil. Analysis of Gas Chromatography – Mass Spectroscopy showed that more than 98% degradation of hydrocarbon by *Alteromonas macleodii* (Y 18228) has been succeeded respectively. It means that *Alteromonas macleodii* (Y 18228) was able to degrade soil contaminated hydrocarbon as a carbon source for its growth

Keywords : *Alteromonas macleodii* (Y 18228), biodegradation, fertilizer, hydrocarbon compound.

Abstrak: *Alteromonas macleodii* (Y 18228) merupakan *halofilic bacterium*, bersifat negatif terhadap pengecatan gram, uji fosfatase dan *spore forming* serta bersifat positif terhadap uji katalase dan uji motilitas. Penelitian bertujuan untuk mengetahui kemampuan bakteri *Alteromonas macleodii* (Y 18228) dalam proses degradasi senyawa hidrokarbon pada tanah tercemar hidrokarbon yang distimulasi *fertilizer*. Penelitian diawali dengan preparasi sampel tanah tercemar hidrokarbon, pembuatan prekultur dan kultur *Alteromonas macleodii* (Y 18228), ekstraksi senyawa hidrokarbon serta analisis senyawa hidrokarbon hasil biodegradasi menggunakan *Gas Chromatography-Mass Spectroscopy* (GC-MS). Hasil penelitian analisis degradasi senyawa 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. *Alteromonas macleodii* (Y 18228) memiliki kemampuan merombak senyawa hidrokarbon pada tanah tercemar minyak bumi.

Kata Kunci : Biodegradasi, *fertilizer*, *Alteromonas macleodii* (Y 18228), senyawa hidrokarbon.

PENDAHULUAN

Hidrokarbon minyak bumi berbasis bahan bakar adalah salah satu polutan paling umum ditemukan terutama di negara industri dan berkembang. Sumber kontaminasi biasanya berasal dari tumpahan disengaja, tempat pembuangan sampah tidak terkendali atau penyimpanan tidak benar dan kebocoran tangki penyimpanan bawah tanah. Tumpahan minyak mempengaruhi banyak spesies mikroorganisme, hewan dan manusia (Plohl *et al.*, 2002). Efek jangka panjang pada ekosistem dapat meningkatkan konsentrasi racun dalam organisme seiring dengan meningkatnya rantai makanan (Samanta *et al.*, 2002).

Dampak pencemaran minyak bumi baik dalam konsentrasi rendah maupun tinggi cukup serius, maka manusia terus berusaha mencari teknologi yang paling mudah, murah dan tidak menimbulkan dampak lanjutan. Biodegradasi adalah alternatif pemulihan lingkungan lebih murah dari segi biaya dan berwawasan lingkungan dari segi kelestarian lingkungan dibanding metode fisika maupun kimia (Harayama, 1995).

Ada dua pendekatan utama dalam pemanfaatan mikroorganisme sebagai salah satu syarat berlangsungnya biodegradasi minyak bumi yaitu bioaugmentasi adalah penambahan mikroorganisme pendegradasi minyak bumi untuk membantu proses degradasi dan biostimulasi adalah penambahan nutrisi untuk menstimulasikan pertumbuhan mikroorganisme *indigenous*. Biostimulasi dilakukan karena proses degradasi hidrokarbon hanya dapat terpenuhi bila seluruh kebutuhan dasar mikroorganisme terpenuhi (Venosa *et al.*, 2002). Lebih lanjut Molnaa & Grubbs (2005), menambahkan bahwa biostimulasi berarti menyediakan seluruh kebutuhan mikroorganisme sehingga mikroorganisme dapat hidup dan melakukan proses biodegradasi.

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). Menurut Gordon (1994), ada tiga faktor yang mempengaruhi biodegradasi yaitu mikroorganisme, nutrisi dan faktor lingkungan.

Sejalan dengan pendapat Gordon (1994), Baker & Herson (1994) menyebutkan bahwa proses biodegradasi senyawa hidrokarbon dipengaruhi oleh faktor pembatas ekologi yaitu 1).

faktor kimia kaitannya dengan kekurangtersediaan/bioavailabilitas suatu nutrien, tidak adanya senyawa penunjang pertumbuhan dan tidak ada induktor enzim yang diperlukan; 2) faktor lingkungan berkaitan dengan kondisi fisik yang ekstrim (pH, suhu, redoks potensial) dan ketidakterediaan donor elektron; 3). faktor mikroorganisme kaitannya dengan ketidakberadaan populasi mikroorganisme pendegradasi polutan hidrokarbon dan kepadatan populasi mikroorganisme pendegradasi polutan hidrokarbon yang rendah.

Hubungannya dengan nutrisi, nutrien yang dibutuhkan oleh mikroorganisme bervariasi menurut jenis mikroorganismenya, namun secara umum mikroorganisme memerlukan karbon, nitrogen dan fosfor disamping beberapa mineral lain yang dibutuhkan dalam jumlah kecil seperti potassium, mangan, kalsium, besi, tembaga, kobalt dan seng (Nugroho, 2006).

Penambahan nutrisi kurang dari jumlah yang optimal akan menghasilkan biodegradasi lambat, dan penambahan nutrisi lebih dari jumlah yang optimal akan menyumbat pori-pori dalam tanah akibat peningkatan biomassa berlebihan, sehingga menyebabkan penghentian proses biodegradasi (Lee *et al.*, 2003). Atlas & Bartha, (1992) menambahkan bahwa kebutuhan karbon berbanding nitrogen adalah 10:1 sedangkan kebutuhan karbon berbanding fosfor adalah 30:1.

Mikroorganisme memerlukan nitrogen dan fosfor untuk mendukung pertumbuhan sel dan menjalankan proses biodegradasi. Untuk memenuhi kebutuhan nutrisi mikroorganisme, maka dalam aplikasinya dilakukan penambahan *fertilizer* kedalam tanah. Nitrogen dibutuhkan untuk kepentingan metabolisme mikroorganisme. Nitrogen bisa dimanfaatkan mikroorganisme dalam bentuk amino nitrogen, ion-ion ammonium dan ion nitrat. Fosfor dibutuhkan mikroorganisme untuk membentuk asam fosfat, ATP dan asam nukleat (Atlas & Bartha, 1992)

Setiap strain mikroorganisme umumnya memiliki kemampuan untuk memanfaatkan beberapa jenis hidrokarbon saja, misalnya khamir dapat mengoksidasi hanya hidrokarbon alifatik (Okpokwasili & Ibe, 1987). Genus bakteri seperti *Acinetobacter*, *Arthrobacter*, *Bacillus*, *Corynebacterium*, *Flavobacterium*, *Vibrio* dan *Pseudomonas* mengandung spesies yang bersama-sama dapat menurunkan konstituen sebagian besar minyak bumi, termasuk hidrokarbon alifatik, alisiklik, aromatik, dan polisiklik (Ko & Lebeault, 1999).

Selama penguraian mikroba terhadap hidrokarbon minyak bumi, panjang rantai n-alkana merupakan salah satu faktor yang penting, sebab rantai pendek hidrokarbon minyak bumi pada

umumnya terurai secara lebih cepat dibandingkan dengan hidrokarbon yang memiliki rantai panjang (Seklemova *et al.*, 2001). Selain rantai panjang, efisiensi dekomposisi hidrokarbon minyak bumi juga ditentukan oleh struktur hidrokarbon minyak bumi (misalnya, struktur polisiklik) serta oleh karakteristik tanah meliputi air, pH, suhu, nutrisi mineral, nitrogen, fosfor, dan senyawa organik.

Salah satu pendekatan terbaik untuk memulihkan tanah yang telah tercemar adalah dengan menggunakan kemampuan mikroorganisme untuk mengurai 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, penelitian ini menjadi penting untuk mengetahui kemampuan bakteri *Alteromonas macleodii* (Y 18228) dalam proses degradasi senyawa hidrokarbon pada tanah tercemar hidrokarbon yang distimulasi *fertilizer*.

METODE

Sampel Tanah

Sampel tanah diambil dan dikumpulkan dari lokasi tercemar di kawasan industri PT. Krakatau Steel, Cilegon, Banten. Kemudian dibawa ke laboratorium Biorekayasa Lingkungan 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 4 polibag untuk keperluan analisis tekstur tanah, suhu, pH, nitrogen organik, karbon organik, rasio karbon/nitrogen, posfor dan kalium serta degradasi senyawa hidrokarbon.

Prakultur 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 aluminium 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 8 cawan petri steril yang sudah disiapkan pada *laminar air flow*.

Pembuatan Stok Kultur Bakteri

Sebanyak 8 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 bakteri yang sudah disiapkan (*Alteromonas macleodii* (Y 18228),) 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 bakteri diketahui tumbuh pada masing-masing cawan petri, kemudian disimpan dalam ruangan pendingin pada 0°C sebagai stok untuk digunakan pada proses kultivasi bakteri selanjutnya.

Kultur 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 7.0. Media NB kemudian dipindahkan sebanyak 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 121⁰C dan tekanan 2 atmosfer selama 15 menit.

Kultivasi Bakteri

Media NB yang sudah disterilisasi dan didinginkan, ditambahkan 2 ose bakteri *Alteromonas macleodii* (Y 18228), kemudian diinkubasi diatas *shaker* selama 5 hari pada suhu kamar (30⁰C) dengan kecepatan 200 rpm.

Kurva Pertumbuhan Bakteri

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.

Perhitungan Jumlah Sel Bakteri

Disiapkan tabung *ependorf* untuk pengenceran berisi 990 μ L aquadest steril. Dilakukan pengenceran 10², 10⁴, 10⁶, 10⁸ dan 10¹⁰ secara berseri. Diambil 10 μ L kultur bakteri hasil inkubasi diatas *shaker* selama 5 hari pada suhu kamar (30⁰C) dengan kecepatan 200 rpm menggunakan mikropipet kemudian dimasukkan kedalam tabung *ependorf* hasil pengenceran 10² dan dikocok sampai homogen. Diambil kembali 10 μ L dari seri pengenceran 10² untuk kemudian dimasukkan kedalam tabung *ependorf* seri pengenceran 10⁴. Demikian seterusnya sampai seri pengenceran 10¹⁰. Mulai seri pengenceran 10⁸ & 10¹⁰, diambil masing-masing sebanyak 25 μ L untuk disebar pada media NA secara triplo dari tiap pengenceran. Setelah diinkubasi selama 24 jam, dihitung jumlah koloninya pada masing-masing cawan petri. Jumlah koloni yang diperhitungkan adalah yang berkisar antara 30-300 koloni. Lebih kecil dari 30 koloni atau lebih besar dari 300 koloni dikatakan *not eligible* untuk penghitungan koloni.

Preparasi Sampel Tanah

Sampel tanah yang sudah dibersihkan dari kotoran, dilakukan penimbangan sebanyak 2 kg kemudian dimasukkan pada 4 polibag. Bakteri *Alteromonas macleodii* (Y 18228) sebanyak 200 mL dituangkan kedalam setiap polibag yang berisi tanah tercemar senyawa hidrokarbon kemudian dilakukan homogenisasi. Masing-masing polibag yang sudah berisi tanah tercemar dan

bakteri *Alteromonas macleodii* (Y 18228), ditambahkan *fertilizer* merk Dekastar dengan rasio NPK 18:11:10 sebanyak 20 g untuk setiap polibag kecuali polibag kontrol. 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.

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 sebagai berikut:

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 μm , 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 dengan perlakuan bakteri *Alteromonas macleodii* (Y 18228) adalah sebagai berikut :

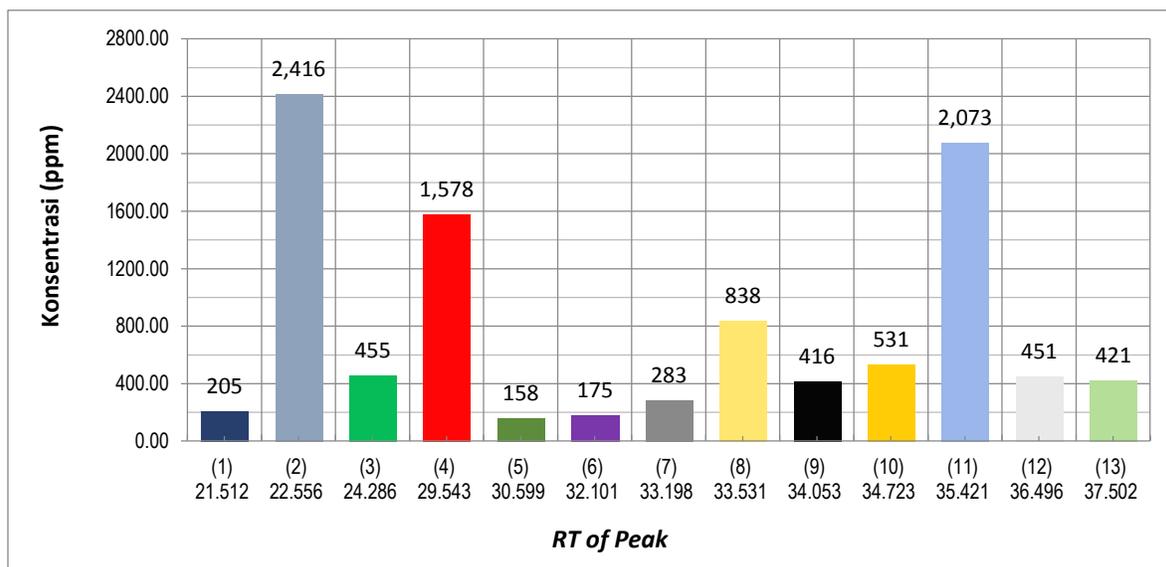
Awal Perlakuan

Analisis tanah tercemar senyawa hidrokarbon awal perlakuan dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil analisis GC-MS senyawa hidrokarbon pada awal perlakuan.

H0, Awal Perlakuan				
<i>Peak</i>	<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-Benzediole</i>
6	32.101	1.75	175.00	<i>2-Amino-1-(o-methoxyphenyl) propane</i>
7	33,198	2.83	283.00	<i>Phenetylamine</i>
8	33.531	8.38	838.00	<i>4-Dycyanomethylene 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-hyroxyl-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 (tricholorosilyl) ethylene</i>

Hasil analisis GC-MS senyawa hidrokarbon awal perlakuan dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Konsentrasi (ppm) *peak* hasil analisis GC-MS senyawa hidrokarbon 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 (trichlorosily) 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-Benzedirole* 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 sebagaimana dilaporkan oleh Calvo (2004).

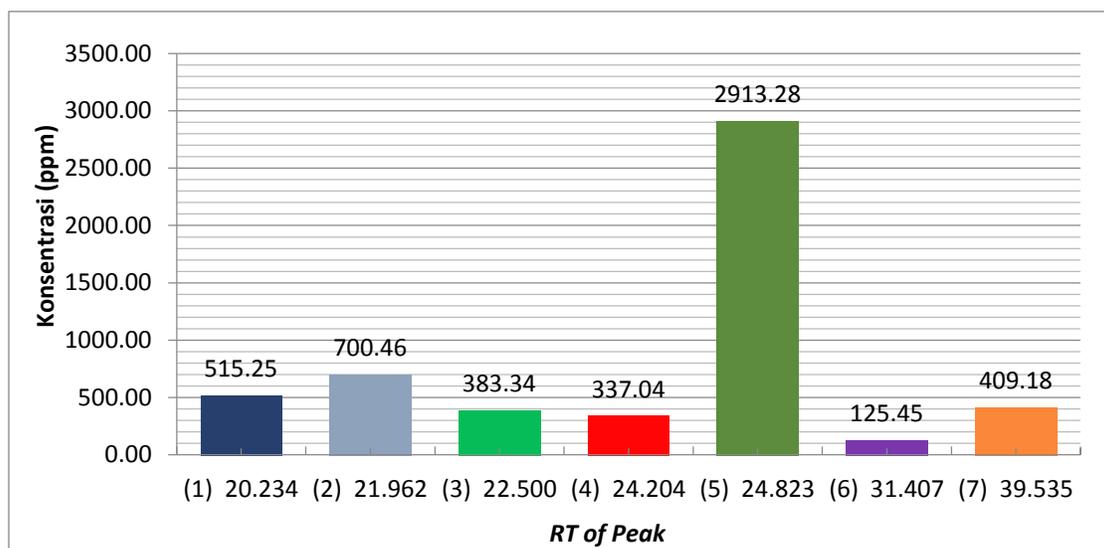
Bakteri *Alteromonas macleodii* (Y 18228)

Analisis tanah tercemar senyawa hidrokarbon dengan perlakuan *Alteromonas macleodii* (Y 18228) dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Hasil analisis GC-MS senyawa hidrokarbon dengan perlakuan *Alteromonas macleodii* (Y 18228) hari ke-15.

Peak	H15, <i>Alteromonas macleodii</i> (Y 18228)			
	RT of Peak	Area (%)	Konsentrasi (μL)	Nama Compound
1	20.234	9.57	515.25	4-Amino-1-propylpiperidine
2	21.962	13.01	700.46	Naphthalene, 2,6 dimethyl-
3	22.556	7.12	383.34	Dibenzothiopene
4	24.204	6.26	337.04	Trihexadecyl borate
5	24.823	54.11	2913.28	Furo[2,3-c]pyridine, 2,3-dihydro-2,7-dimethyl-
6	31.407	2.33	125.45	2-Amino-1-(o-methoxyphenyl)propane
7	39.535	7.60	409.18	Pentadecane,2,6,10,14-tetramethyl

Hasil analisis GC-MS senyawa hidrokarbon dengan perlakuan *Alteromonas macleodii* (Y 18228) hari ke-15 dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Konsentrasi (ppm) peak hasil analisis GC-MS senyawa hidrokarbon dengan perlakuan *Alteromonas macleodii* (Y 18228) hari ke-15.

Keterangan :

- (1) *4-Amino-1-propylpiperidine*
- (2) *Naphthalene, 2,6-dimethyl*
- (3) *Dibenzothiopene*
- (4) *Trihexadecyl borate*
- (5) *Furo[2,3-c]pyridine, 2,3-dihydro-2,7-dimethyl-*
- (6) *2-Amino-1-(o-methoxyphenyl) propane*
- (7) *Pentadecane, 2,6,10,14-tetramethyl*

Gambar

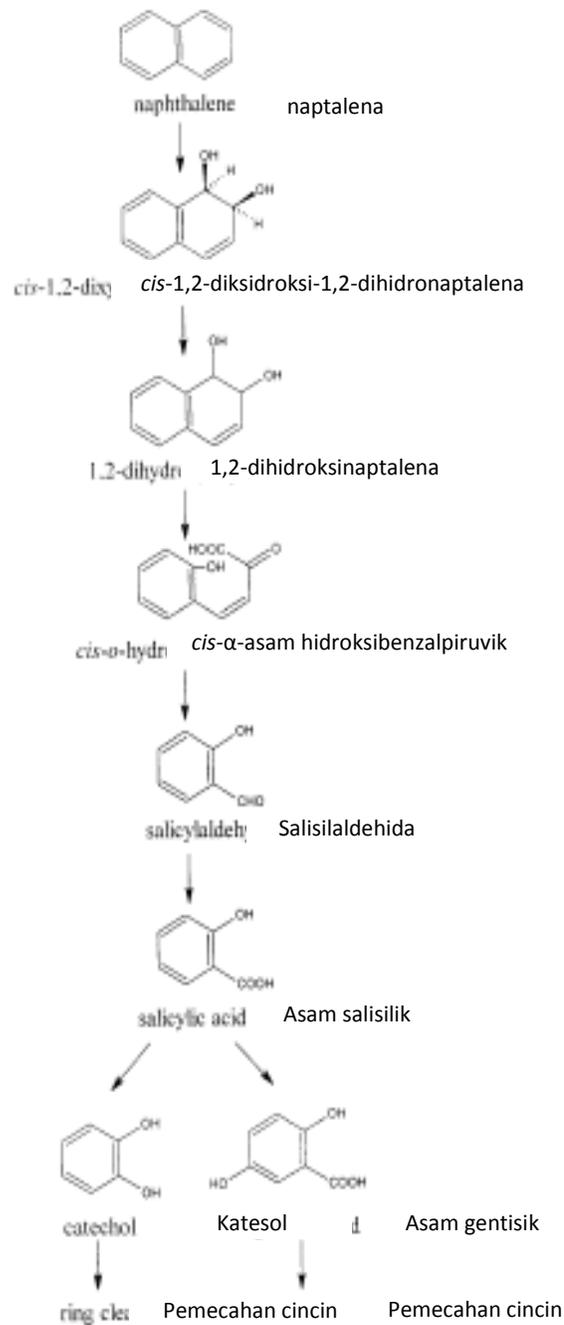
2 menunjukkan ada 7 senyawa hidrokarbon ditemukan pada pengamatan hari ke 15 meliputi senyawa *4-Amino-1-propylpiperidine*, senyawa *Naphthalene 2,6-dimethyl*, senyawa *Dibenzothiopene*, senyawa *Trihexadecyl borate*, senyawa *Furo[2,3-c]pyridine, 2,3-dihydro-2,7-dimethyl-*, senyawa *2-Amino-1-(o-methoxyphenyl) propane* dan senyawa *Pentadecane, 2,6,10,14-tetramethyl*.

Histogram pada Gambar 2 memperlihatkan bahwa senyawa hidrokarbon terdeteksi paling besar volume konsentrasi dan luas areanya adalah *Pentadecane, 2,6,10,14-tetramethyl-* (konsentrasi 2913.28 ppm; luas area 54.11%). Senyawa hidrokarbon terdeteksi paling kecil volume konsentrasi dan luas areanya adalah *2-Amino-1-(o-methoxyphenyl) propane* (konsentrasi 125.45 ppm; luas area 2.33%).

Alteromonas macleodii (Y 18228) menunjukkan aktivitas biodegradasi senyawa hidrokarbon untuk sumber energi dan pertumbuhannya. Senyawa *Dibenzothiopene* mengalami penurunan konsentrasi sebesar 2.032,7 ppm dibanding pengamatan hari ke-0. Senyawa *Trihexadecyl borate* mengalami penurunan konsentrasi sebesar 117,96 ppm dibanding pengamatan hari ke-0. Senyawa *2-Amino-1-(o-methoxyphenyl) propane* juga mengalami penurunan konsentrasi sebesar 50 ppm dibanding pengamatan hari ke-0.

Histogram pada Gambar 2 menunjukkan bahwa *Alteromonas macleodii* (Y 18228) memiliki spesifisitas dalam menggunakan substrat sehingga hanya mampu merombak senyawa hidrokarbon tertentu dalam kisaran terbatas sebagaimana dilaporkan Harayama (1995). Okpokwasili & James (1995), juga melaporkan bahwa dalam kondisi tertentu kultur murni terseleksi relatif lebih baik dalam pemanfaatan minyak bumi dibanding kultur campuran. Salah satu alasannya adalah adanya sifat antagonistik strain mikroorganisme dalam konsorsium.

Analisis gas kromatografi-mass spektroskopi tujuh senyawa hidrokarbon yang ditemukan pada hari ke-15, pada pengamatan hari ke-30 sudah tidak ditemukan lagi. Salah satu senyawa yang tidak ditemukan lagi adalah *naphthalene*. Mekanisme biodegradasi senyawa hidrokarbon *naphthalene* seperti yang dilaporkan Cerniglia (1992) dapat dilihat pada Gambar 3:



Gambar 3. Mekanisme biodegradasi senyawa hidrokarbon *naphthalene* oleh mikroorganisme (Cerniglia, 1992).

KESIMPULAN

Studi laju degradasi senyawa hidrokarbon pada tanah tercemar dengan perlakuan bakteri yang distimulasi *fertilizer* menunjukkan bahwa bakteri *Alteromonas macleodii* (Y 18228), memiliki kemampuan dalam merombak senyawa hidrokarbon sebagai sumber karbon untuk pertumbuhan.

Hasil analisis GC-MS senyawa hidrokarbon pada tanah tercemar menunjukkan bahwa senyawa paling awal terdegradasi adalah senyawa dengan struktur rantai lurus (alkana), selanjutnya senyawa dengan struktur rantai bercabang dan terakhir senyawa dengan struktur rantai siklik. Biodegradasi senyawa hidrokarbon oleh *Alteromonas macleodii* (Y 18228) dimulai dari yang termudah sampai yang tersulit adalah alkana rantai lurus > alkana rantai cabang > aromatik > sikloalkana.

DAFTAR RUJUKAN

- Atlas, R.M., & R. Bartha. 1992. Microbial Ecology : Fundamentals and Application. Redwood City. California. 3rd ed. *The Benjamin/Cummings Publish. Company Inc.*, 393-399.
- Baker, C., & D. Herson. 1994. Bioremediation. *McGraw-Hill. Inc* New York. USA.
- Cerniglia CE. 1992. Biodegradation of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons. Biodegradation 3:351–368.
- Gordon, Ray. 1994. Bioremediation and Its Application to Exxon Valdez Oil Spill in Alaska. <http://www.geocities.com/capecanaveral/lab/2094>.
- Harayama, S.K., 1995. Biodegradation of Crude Oil. Programe and Abstract in the *First Asia-Fasific Marine Biotechnology Conference*. Shimizu. Shizuoka. Japan.
- Ivey, G.A., 2006. Surfactant Enhanced Bioremediation – *Remediation Weekly*.
- Molnaa, B.A., & R.B. Grubbs, 2005. Using *Concortia* as an Innoculum. USA. Solmar Corporation.
- Nugroho, A., 2006. Bioremediasi Hidrokarbon Minyak Bumi. *Graha Ilmu*, Yogyakarta.

- Okpokwasili, G. C., & S. N. Ibe. 1987. Genetically Engineered Microbes and Oil Degradation. In *the Proceedings of Int. Seminar on Petroleum Industry and the Nigerian Environ.*, 97-103.
- Okpokwasili, G. C., & W. A. James. 1995. Microbial Contamination of Kerosene, Gasoline, and Crude Oil and Their Spoilage Potentials. *Material U. Organism*, 29 : 147-156.
- Otega-Calvo, J.J., 2004. Microbial Physiology of PAH Biodegradation under Bio-availability Restrictions.
- Plohl K., H. Leskovovsek & M. Briceilj. 2002. Biological Degradation of Motor Oil in Water. *Acta. Chim. Slov.*, 49 : 279-289.
- Samanta K.S., O.V. Singh, & R.K. Jain. 2002. Polycyclic Aromatic Hydrocarbon: Environmental Pollution and Bioremediation. *Trends in Biotechnol.*, 60 : 243-248.
- Seklemova, E., A. Pavlova, & K. Kovacheva. 2001. Biostimulation-Based Bioremediation of Diesel Fuel : *Field Demonstration Biodeg.*, 12 : 311–316.
- Venosa, A.D., J.R. Haines, W. Nisamanepong, R. Govind, S. Pradhan, & B. Siddique. 2002. Efficiency of Commercial Products in Enhancing Oil Biodegradation in Closed Laboratory Reactors. *J. Industrial Microbiol.*, 10 : 13-23.
- 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.