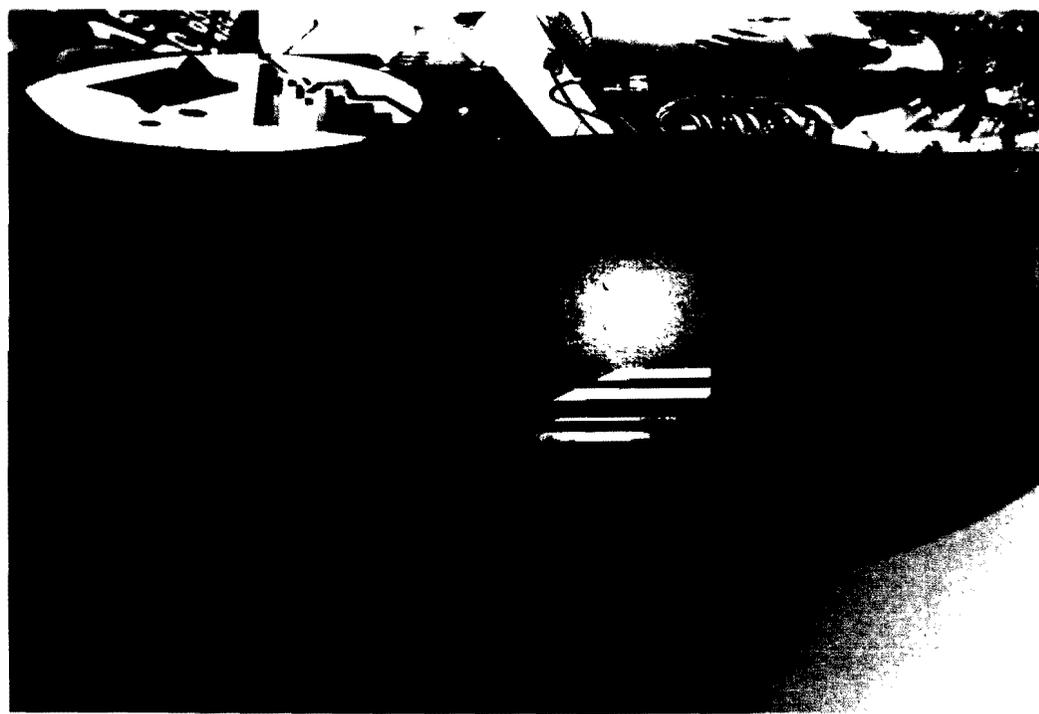


**Sains Sebagai Landasan Inovasi dalam Bidang
Energi, Lingkungan dan Pertanian Berkelanjutan**



BUKU 2
**Geofisika dan Meteorologi, Biologi, Kimia,
Biokimia**

Diterbitkan Oleh :



Institut Pertanian Bogor
**Fakultas Matematika dan
Ilmu Pengetahuan Alam**

ISBN: 978-979-95093-8-3

Seminar Nasional Sains V

10 November 2012

Sains Sebagai Landasan Inovasi dalam
Bidang Energi, Lingkungan dan Pertanian
Berkelanjutan

Prosiding

Dewan Editor

Dr. Kiagus Dahlan
Dr. Sri Mulijani
Dr. Endar Hasafah Nugrahani
Dr. Suryani
Dr. Anang Kurnia
Dr. Tania June
Dr. Miftahudin
Dr. Charlena
Dr. Paian Sianturi
Sony Hartono Wijaya, M Kom
Dr. Tony Ibnu Sumaryada
Waras Nurcholis, M Si.
Dr. Indahwati
Drs. Ali Kusnanto, M Si.



Fakultas Matematika dan
Ilmu Pengetahuan Alam

Institut Pertanian Bogor
2012



Copyright© 2012

Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Institut Pertanian Bogor
Prosiding Seminar Nasional Sains V ” Sains Sebagai Landasan Inovasi dalam Bidang Energi,
Lingkungan dan Pertanian Berkelanjutan” di Bogor pada tanggal 10 November 2012

Penerbit : FMIPA-IPB, Jalan Meranti Kampus IPB Dramaga, Bogor 16680

Telp/Fax: 0251-8625481/8625708

<http://fmipa.ipb.ac.id>

Terbit 10 November 2012

xi + 866 halaman

ISBN: 978-979-95093-8-3.

Kimia

BIOREMEDIASI SENYAWA HIDROKARBON PADA TANAH TERCEMAR LIMBAH MINYAK BERAT MENGGUNAKAN TEKNIK *LANDFARMING*

Charlena¹⁾, Zainal Alim¹⁾, Abdul Haris²⁾, Fajar Kurniawan¹⁾

¹⁾Departemen Kimia FMIPA IPB

karlena22@yahoo.com

²⁾ PPPTMGB LEMIGAS

ABSTRAK

Bioremediasi merupakan salah satu alternatif pengolahan tanah tercemari minyak. Dalam penelitian ini, bioremediasi dilakukan dengan teknik *landfarming* terhadap tanah yang tercemari limbah minyak bumi fraksi berat. Sampel tanah tersebut dicampur dengan tanah liat dan atau pupuk kompos dengan tambahan bakteri (bioaugmentasi) dan tanpa tambahan bakteri (biostimulasi). Bakteri yang digunakan merupakan konsorsium bakteri dari kotoran sapi dan kuda. Pengamatan dilakukan terhadap pH, kadar air, suhu, dan hidrokarbon minyak bumi total (TPH) untuk melihat terjadinya biodegradasi. Hasil pengamatan menunjukkan bahwa sampel yang dicampur dengan pupuk kompos (1:1) secara bioaugmentasi memberikan nilai pH, kadar air, dan suhu yang sesuai untuk pertumbuhan bakteri (berturut-turut 6.5, 25%, dan 35 °C) sehingga mampu menurunkan nilai TPH sebesar 48%. Penurunan tersebut menunjukkan bahwa perlakuan tersebut merupakan yang terbaik untuk bioremediasi dalam pekerjaan ini. Analisis hidrokarbon dari campuran tanah-kompos tersebut setelah 16 minggu menggunakan kromatografi gas-spektroskopi massa menunjukkan penurunan jumlah hidrokarbon berbobot molekul besar.

Kata kunci: bioremediasi, senyawa hidrokarbon, *landfarming*, limbah minyak berat

1 PENDAHULUAN

Pencemaran minyak bumi di tanah merupakan ancaman yang serius bagi kesehatan. Pencemaran minyak bumi, meskipun dengan konsentrasi hidrokarbon yang sangat rendah dapat menimbulkan kerusakan lingkungan [10]. Berbagai kegiatan eksplorasi, eksploitasi, transportasi, penyimpanan, pengolahan dan distribusi minyak mentah maupun minyak olahan berpotensi untuk terjadinya kebocoran dan tumpahan minyak ke lingkungan (Pertamina 2005 yang diacu dalam Budianto [3]). Tanah yang terkontaminasi minyak tersebut dapat merusak lingkungan serta menurunkan estetika. Limbah minyak bumi dikategorikan sebagai limbah bahan berbahaya dan beracun (B3) sesuai dengan Keputusan Menteri Lingkungan Hidup 128 Tahun 2003 [8]. Oleh karena itu perlu dilakukan pengelolaan dan pengolahan terhadap tanah yang terkontaminasi

minyak. Hal ini dilakukan untuk mencegah penyebaran dan penyerapan minyak ke dalam tanah.

Pengolahan limbah minyak bumi dapat dilakukan dengan cara fisika, kimia dan biologi. Salah satu alternatif yang dikembangkan saat ini adalah proses bioremediasi yang merupakan metode ramah lingkungan, cukup efektif dan efisien serta ekonomis [9]. Penanganan lahan tercemar minyak bumi menggunakan bioremediasi dilakukan dengan cara memanfaatkan mikroorganisme untuk menurunkan konsentrasi atau daya racun bahan pencemar. Kemampuan mikroorganisme dalam mendegradasi hidrokarbon telah digunakan sejak tahun 70-an dan 80-an pada lahan pertanian tempat pembuangan minyak [2].

Penelitian dilakukan pada tanah tercemar limbah minyak bumi yang berasal dari ladang minyak daerah Duri, Riau. Limbah tersebut diolah dengan bioremediasi dan dianalisis kandungan *total petroleum hydrocarbon* (TPH). *Heavy oil waste* (HOW) ini yang akan diberi perlakuan menggunakan metode *landfarming*. Hasil pengolahan limbah tersebut menghasilkan perubahan senyawa hidrokarbon dari rantai karbon panjang menjadi pendek. Keberhasilan proses degradasi dicirikan menggunakan instrumen kromatografi gas spektroskopi massa (GC-MS). Proses degradasi yang baik akan menghasilkan kandungan TPH di bawah 1% dengan jumlah C pada rantai hidrokarbon tidak lebih dari sepuluh [8].

Penelitian ini menentukan persen TPH pada tanah tercemar limbah minyak berat dan membandingkan perubahan senyawa hidrokarbon antara sebelum dan sesudah proses bioremediasi menggunakan GC-MS.

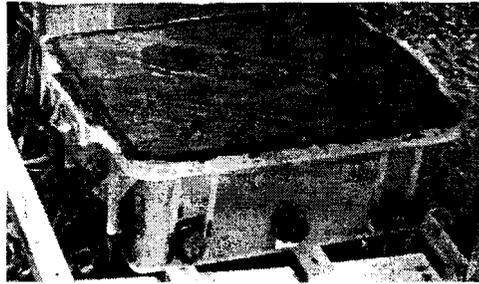
2 METODE PENELITIAN

Penelitian ini terbagi dalam 3 tahap. Tahap pertama adalah preparasi sampel. Tahap kedua adalah perlakuan sampel dan tahap ketiga adalah analisis pH, suhu, kadar air, TPH, dan pengukuran GC-MS.

2.1 Preparasi Sampel

Preparasi sampel, yaitu pengumpulan bahan baku berupa tanah yang tercemar limbah minyak bumi, tanah liat, pupuk kompos, dan konsorsium bakteri. Limbah tanah digiling sehingga bentuknya menjadi kecil-kecil. Setelah itu tanah liat dikeringkan terlebih dahulu supaya mudah untuk dihaluskan. Sampel diberi perlakuan yang berbeda, yang terdiri atas limbah minyak (HOW) kode A, limbah minyak (HOW) ditambah

kompos kode B, limbah minyak (HOW) ditambah tanah liat kode C, dan limbah minyak (HOW) ditambah tanah liat dan kompos kode D dengan perbandingan yang berbeda-beda dengan bobot keseluruhan 10 kg dan dimasukkan ke dalam wadah seperti Gambar 1. Komposisi perlakuan sampel seperti yang ditunjukkan pada Tabel 1. Masing-masing perlakuan ada yang diperlakukan secara bioaugmentasi dengan dua kali pengulangan, dan sebagai kontrol yang diperlakukan secara biostimulasi.



Gambar 1 Bioreaktor untuk bioremediasi teknik *landfarming*

Tabel 1 Komposisi perbandingan perlakuan sampel

Kode	Komposisi (kg)			Keterangan
	HOW	Tanah Liat	Kompos	
A1	10	0	0	Bioaugmentasi
A0	10	0	0	Biostimulasi
B1	5	0	5	Bioaugmentasi
B0	5	0	5	Biostimulasi
C1	5	5	0	Bioaugmentasi
C0	5	5	0	Biostimulasi
D1	5	2.5	2.5	Bioaugmentasi
D0	5	2.5	2.5	Biostimulasi

Keterangan:

Bioaugmentasi = adanya penambahan bakteri

Biostimulasi = tanpa penambahan bakteri

2.2 Analisis TPH padat (US EPA [11])

Nilai TPH diukur menggunakan metode gravimetri. Sebanyak 2.5 gram sampel ditimbang kemudian dibungkus dengan kertas saring. Timbel yang telah dibuat tersebut dimasukkan dalam radas Soxhlet dan diekstrak dengan pelarut *n*-heksana selama 4 jam. Ekstrak yang diperoleh dihilangkan airnya menggunakan Na_2SO_4 anhidrat sebanyak 10 gram kemudian dihilangkan lemaknya dengan silika gel sebanyak 10 gram. Ekstrak yang diperoleh kemudian dipekatkan dengan penguap putar hingga kering. Labu yang telah kering dipanaskan dalam oven pada suhu 70 °C selama 10 menit kemudian didinginkan dalam desikator dan ditimbang.

2.3 Pengukuran Struktur dengan GC-MS (US EPA [11])

Penentuan struktur dengan GC-MS dilakukan pada minggu ke-0, dan ke-16. Sebanyak 2.5 gram sampel ditimbang kemudian dibungkus dengan kertas saring. Timbel yang telah dibuat tersebut dimasukkan dalam soxhlet dan diekstrak dengan pelarut *n*-heksana selama 4 jam. Ekstrak yang diperoleh dihilangkan airnya menggunakan Na_2SO_4 anhidrat sebanyak 10 gram kemudian dihilangkan lemaknya dengan silika gel sebanyak 10 gram. Ekstrak yang diperoleh kemudian dipekatkan dengan penguap putar hingga kering. Ekstrak dan labu dicuci kembali dengan pelarut awal kemudian dimasukkan dalam tabung kecil. Ekstrak tersebut kemudian diinjeksi ke dalam alat GC-MS.

3 HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Analisis pH

Nilai pH mempengaruhi kemampuan mikroorganismenya dalam menjaga kelangsungan aktivitas-aktivitas seluler, transpor membran sel, dan kesetimbangan reaksi yang dikatalis enzim-enzimnya. Berdasarkan pengukuran pH yang dilakukan setiap minggu, pH yang terukur berkisar antara 4.00–7.00. Menurut Cookson [4] pH yang optimum bagi pertumbuhan bakteri adalah 7 dan memiliki rentang pH antara 4 dan 10, sedangkan untuk oksidasi nitrogen dan fermentasi metana berkisar antara 6 sampai 8. Degradasi hidrokarbon lebih cepat bila dilakukan pada kondisi pH di atas 7 dibandingkan dengan pH di bawah 5. Perlakuan pada sampel A dan C mengalami penurunan pH di bawah 5 yang menghambat proses degradasi, sedangkan pada perlakuan sampel B dan D kondisi pH tidak berada di atas 7 tetapi tidak sampai pada pH di bawah 5. Hal ini disebabkan adanya penambahan pupuk kompos yang bersifat netral. Pada semua sampel

terjadi peningkatan konsentrasi bahan organik yang akan menurunkan alkalinitas larutan, sehingga perlu ditambahkan CaCO_3 untuk mengembalikan pH larutan kembali normal.

Kecenderungan penurunan pH teramati pada setiap sampel dengan nilai penurunan yang hampir sama. Penurunan tersebut menunjukkan bahwa akumulasi asam-asam organik sebagai hasil akhir metabolisme meningkat seiring dengan bertambahnya waktu inkubasi.

3.2 Analisis Kadar Air

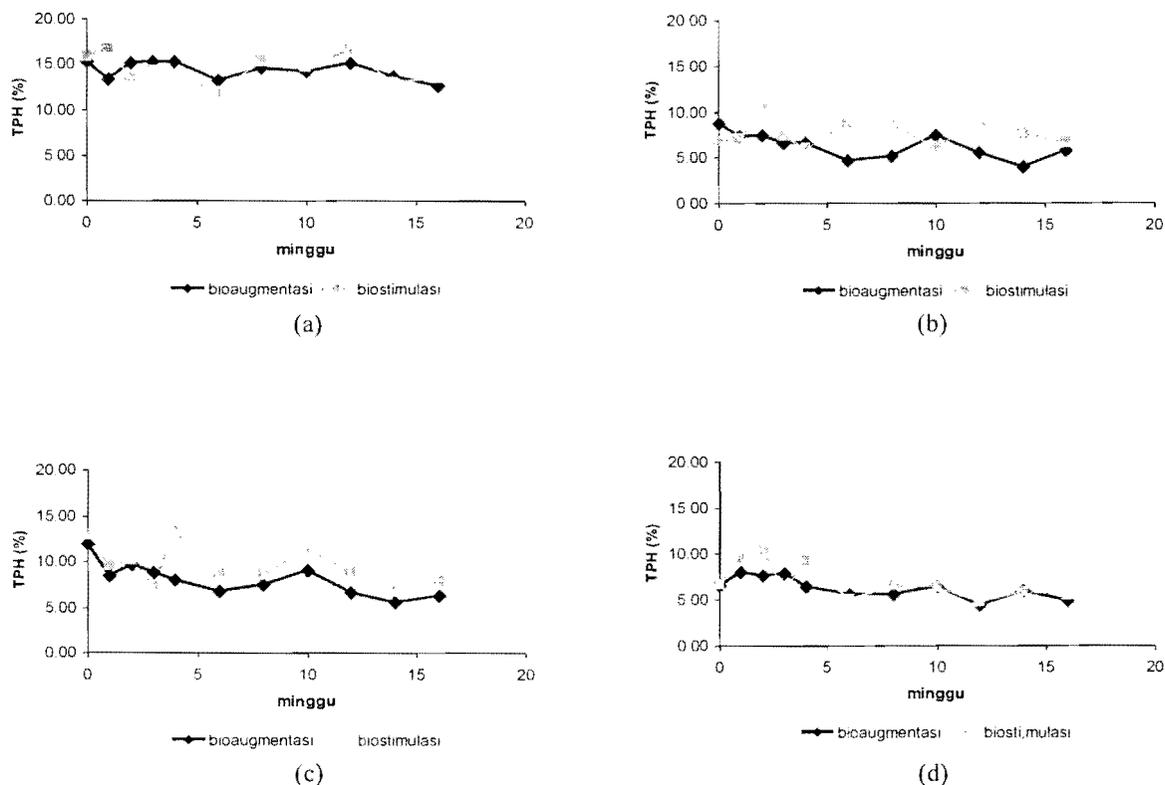
Kelembaban sangat penting untuk hidup, tumbuh dan aktivitas metabolik mikroorganisme. Berdasarkan pengukuran yang dilakukan setiap minggu, rerata kadar air yang terukur pada sampel A, B, C, dan D bioaugmentasi berturut-turut sebesar 9%, 27%, 10%, dan 16%, sedangkan untuk sampel A, B, C, dan D biostimulasi berturut-turut sebesar 10%, 24%, 8%, dan 16%. Nilai yang bervariasi ini diakibatkan karena perbedaan perlakuan pada tiap sampel. Setiap minggunya dilakukan penambahan air pada sampel secara teratur. Hasil pengukuran menunjukkan bahwa pada sampel A yang hanya berupa tanah liat yang tercemar limbah memiliki kapasitas menyimpan kadar air berkisar 10%, untuk sampel B yang menggunakan campuran kompos paling baik dalam menyimpan kadar air, karena kompos memiliki porositas yang lebih tinggi dibandingkan dengan tanah liat. Namun, kadar air sampel C lebih rendah dibandingkan dengan sampel A. Hal ini disebabkan campuran tanah liat memberikan penambahan bobot kering sehingga kadar airnya menurun. Untuk sampel D kadar airnya lebih kecil dibandingkan dengan sampel B, tetapi lebih besar jika dibandingkan dengan sampel A dan C. Hal ini dikarenakan pada sampel D adanya penambahan kompos.

Menurut Fletcher [7] selama bioremediasi, jika kandungan air terlalu tinggi akan berakibat sulitnya oksigen untuk masuk ke dalam tanah, sedangkan tanpa air mikroorganisme tidak dapat hidup dalam limbah minyak. Menurut Dibble dan Bartha [6] kadar air yang dibutuhkan bakteri untuk metabolisme dalam mendegradasi hidrokarbon berkisar antara 30–90%.

3.3 Analisis Suhu

Pada proses degradasi, suhu akan mempengaruhi terhadap sifat fisik dan kimia komponen-komponen minyak, kecepatan degradasi oleh mikroorganisme, dan komposisi komunitas mikroorganisme. Berdasarkan pengukuran suhu yang dilakukan setiap minggu, suhu yang terukur berkisar antara 27–51 °C. Menurut Leahly dan Colwell (1990) suhu untuk degradasi hidrokarbon yang optimal adalah 30–40 °C. Pada suhu rendah,

viskositas minyak akan meningkat mengakibatkan volatilitas alkana rantai pendek yang bersifat toksik menurun dan kelarutannya di air akan meningkat sehingga proses biodegradasi akan terhambat. Begitu juga pada suhu tinggi akan menghambat proses degradasi, karena dapat menyebabkan bakteri mati. Efek penghambatan tersebut juga disebabkan oleh penurunan aktivitas enzim mikrobial.



Gambar 2 Perbandingan nilai TPH bioaugmentasi dan biostimulasi selama 16 minggu sampel A(a), sampel B (b), sampel C (c), dan sampel D (d)

3.4 Analisis TPH

TPH merupakan faktor penting untuk melihat keberhasilan degradasi hidrokarbon minyak bumi. Pengukuran dilakukan setiap 2 minggu. Pada sampel A0 yang terdiri atas HOW saja tanpa ada penambahan bakteri TPH awal yang terukur menunjukkan nilai 15.84% dan di akhir pengukuran sebesar 13.43%. Penurunan TPH ini termasuk rendah karena pada A0 hanya HOW saja yang mengandalkan bakteri *indigenous* yang berasal dari HOW itu sendiri.

Sampel A1 yang terdiri atas HOW dengan penambahan konsorsium bakteri nilai TPH awal yang terukur sebesar 15.32% dan akhir pengukuran sebesar 12.61% (Gambar 2a).

Penurunan TPH pada A1 lebih baik daripada A0. Hal ini disebabkan adanya penambahan bakteri pada A1 sehingga proses degradasi lebih baik.

Pada sampel B menggunakan campuran kompos. Kompos ini bisa dijadikan media yang baik untuk kehidupan bakteri karena terdapat nutrisi yang bisa digunakan sebagai bahan makanan. Selain itu, di dalam kompos juga terdapat bakteri.

Sampel B0 yang terdiri atas HOW dengan pencampuran kompos tanpa adanya penambahan bakteri TPH awal yang terukur menunjukkan nilai 12.84% dan diakhir pengukuran sebesar 7.82%, sedangkan pada sampel B1 yang terdiri atas HOW dengan pencampuran kompos dan penambahan konsorsium bakteri nilai TPH awal yang terukur sebesar 11.96% dan akhir pengukuran 6.22% (Gambar 2b). Penurunan TPH pada B1 paling baik dibandingkan dengan perlakuan lain, karena adanya nutrisi dan penambahan bakteri.

Sampel C0 yang terdiri atas HOW dengan pencampuran tanah liat tanpa adanya penambahan bakteri TPH awal yang terukur menunjukkan nilai 6.69% dan diakhir pengukuran sebesar 6.54%. Adanya perlakuan dengan penambahan tanah liat ini untuk mengkondisikan dengan suasana asalnya di daerah Duri Riau, sedangkan pada sampel C1 yang terdiri atas HOW dengan pencampuran tanah liat dan penambahan konsorsium bakteri nilai TPH awal yang terukur sebesar 8.73% dan akhir pengukuran 5.78% (Gambar 2c). Penurunan TPH yang tidak terlalu tinggi pada perlakuan C bisa dimungkinkan karena tanah liat tingkat porositasnya lebih kecil daripada kompos, sehingga penyebaran nutrisi tidak mudah terjadi.

Sampel D0 yang terdiri atas HOW dengan pencampuran tanah liat dan kompos, tanpa adanya penambahan bakteri. TPH awal yang terukur menunjukkan nilai 6.69% dan diakhir pengukuran sebesar 5.53%, sedangkan pada sampel D1 yang terdiri atas HOW dengan pencampuran tanah liat, kompos dan penambahan konsorsium bakteri, nilai TPH awal yang terukur sebesar 6.52% dan akhir pengukuran 4.87% (Gambar 2d). Hasil penurunan TPH pada sampel D lebih baik dibandingkan dengan sampel C. Hal ini disebabkan pada sampel D ada penambahan kompos yang kaya akan nutrisi dan bakteri.

Hasil pengukuran TPH secara keseluruhan dapat dilihat pada Lampiran 5. Penurunan TPH pada sampel A paling rendah, untuk bioaugmentasi sebesar 17.69% dan biostimulasinya 15.21%. Hal ini disebabkan pada sampel A hanya terdiri limbah saja. Penurunan TPH terbesar terjadi pada sampel B, untuk sampel bioaugmentasi B1 sebesar 48% dan biostimulasi B0 sebesar 39.10%. Hal ini disebabkan adanya penambahan kompos yang didalamnya kaya akan unsur hara dan bakteri dapat bekerja lebih baik

karena kondisi lingkungan pada sampel B yang lebih baik daripada sampel lainnya, yaitu rerata pH, kadar air dan suhu berturut-turut 6.5, 25%, dan 35° C. Pada sampel B1 penurunan lebih baik karena adanya penambahan bakteri. TPH yang terukur pada semua sampel menunjukkan grafik naik turun. Hal ini disebabkan kerja mikroorganisme yang berbeda-beda. Biodegradasi minyak bumi oleh mikroorganisme bisa terjadi di bawah kondisi aerobik maupun anaerobik, dan aktivitas degradasi tersebut merupakan reaksi yang umum terjadi di alam. Kondisi lingkungan yang berbeda akan mempengaruhi perbedaan aktivitas mikroorganismenya dalam mendegradasi senyawa polutan. Menurut Daubaras dan Chakrabarty [5], perubahan kondisi lingkungan juga akan mempengaruhi aktivitas mikroorganisme di dalamnya. Aktivitas tersebut meningkat karena adanya ekspresi gen-gen tertentu untuk memproduksi enzim-enzim yang sesuai.

Terdapat perbedaan pada semua sampel antara hasil bioaugmentasi dengan biostimulasi. Untuk mengetahui hasil perlakuan dilakukan uji ragam (anova). Berdasarkan hasil uji statistik tersebut, secara keseluruhan perbedaan bioaugmentasi dengan biostimulasi tidak signifikan, tapi terbukti pada hasil akhir TPH pada bioaugmentasi lebih rendah dibandingkan dengan biostimulasi.

3.5 Perubahan Senyawa Hidrokarbon

Berdasarkan data kromatogram hasil GC-MS dapat dilihat perubahan senyawa hidrokarbon dari luas puncak yang terukur. Penentuan senyawa hidrokarbon berdasarkan data yang terdapat pada *library* menggunakan *CAS Number*. Hasil identifikasi sampel senyawa dari *library* dipilih yang memiliki kemiripan lebih dari 90.

Perubahan senyawa hidrokarbon pada keseluruhan sampel dapat dilihat pada Lampiran 7. Pada semua sampel proses biodegradasinya cukup beragam. Pada pengukuran awal teridentifikasi senyawa hidrokarbon dari C-6 sampai C-35. Setelah pengukuran pada minggu ke-16 atau akhir banyak senyawa berubah. Pada data kromatogram dapat dilihat penurunan kelimpahan atau *abundance*. Hal ini menunjukkan terjadinya proses degradasi senyawa hidrokarbon.

Pada degradasi *n*-alkana penyisipan molekul oksigen ke dalam struktur hidrokarbon terjadi pada gugus metil terminal maupun subterminal. *n*-alkana dioksidasi menjadi alkohol kemudian menjadi asam karboksilat, yang selanjutnya akan dilakukan pemisahan dua unit karbon secara berkesinambungan dan dikenal dengan sekuen β -oksidasi [4].

Perubahan senyawa hidrokarbon pada sampel A hampir sama dengan sampel C. Begitu juga dengan sampel B mirip dengan sampel D. Dari semua sampel yang paling rendah mengalami perubahan, yaitu sampel A. Hal ini dapat dilihat dari pengukuran diakhir, masih terdapat hidrokarbon rantai panjang, contohnya docosana (C-22) dengan luas puncak 0.25%.

Pengukuran pada minggu akhir banyak senyawa yang hilang. Walaupun pada sampel A dan C terjadi perubahan luas puncak, tetapi tidak terlalu signifikan, sedangkan pada sampel B dan D terjadi perubahan luas puncak yang signifikan. Hilangnya senyawa-senyawa pada akhir pengukuran dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2 Senyawa yang hilang pada akhir pengukuran

Sampel A	Sampel B	Sampel C	Sampel D
tetrahidro 2-5 dimetil furan	tetrahidro 2-5 dimetil furan	tetrahidro 2-5 dimetil furan	dodekametil sikloheksasiloksana
oktametil siklotetra siloksana	oktametil siklotetra siloksana	dekametil siklopentasiloksana	tetradekana
pentatriakontana	tetradekana	tetradekana	pentadekana
metil heksadekanoat	pentadekana	pentadekana	heksadekana
	heksadekana	heksadekana	heptadekana
	heptadekana	pentatriakontana	oktadekana
	oktadekana	dokosana	pentatriakontana
	pentatrikontana	1-nonadekana	nonadekana
	nonadekana		metil heksadekanoat
	metil heksadekanoat		eikosana
	eikosana		heneikosana
	heneikosana		dokosana
	dokosana		1-nonadekana
	1-nonadekana		

Tabel 3 Senyawa yang muncul pada akhir pengukuran

Sampel A	Sampel B	Sampel C	Sampel D
heksametilsiklotrisiloksana	toluena	heksametilsiklotrisiloksana	heptana
dodekana	oktametilsiklotetrasiloksana	benzotiazola	toluena
		metiloktadekanoat	1,3 dimetilbenzena

Hilangnya senyawa tersebut karena terjadi proses degradasi. Pada sampel A dan C tidak terlalu banyak senyawa yang hilang. Pada sampel A hanya 4 senyawa yang hilang

dan 8 senyawa pada sampel C. Pada sampel B yang merupakan penurunan TPH paling baik ditemukan banyak senyawa yang hilang (14 senyawa). Hal ini disebabkan bakteri bekerja lebih baik dan bakteri yang ada dalam kompos juga ikut mendegradasi hidrokarbon.

Senyawa-senyawa yang hilang hasil degradasi ini memungkinkan adanya senyawa baru yang muncul. Hal ini dapat dibuktikan pada hasil akhir pengukuran. Senyawa-senyawa tersebut sebagian besar memiliki panjang rantai C kurang dari 10 di antaranya heksametil siklotrisiloksana (C-6), toluene (C-7), benzotiazola (C-7) dan *n*-heptana (C-7). Senyawa-senyawa tersebut sulit didegradasi karena bersifat toksik bagi mikroorganisme. Senyawa-senyawa yang muncul dapat dilihat pada Tabel 3.

Senyawa-senyawa yang masih terdapat pada akhir pengukuran dapat dikatakan sebagai hidrokarbon yang sulit didegradasi oleh bakteri. Sebagai contoh pada sampel B senyawa hidrokarbon alifatik, yaitu dodekametil sikloheksasiloksana dengan luas puncak 0.20% pada sampel A dengan contoh senyawa yang sama masih memiliki luas puncak yang cukup besar, yaitu 1.61%.

4 SIMPULAN DAN SARAN

Penurunan TPH terjadi pada semua sampel dan penurunan terbesar terjadi pada bioaugmentasi B1 yang menggunakan campuran kompos sebesar 48%. Tetapi hasil masih jauh dari yang diharapkan karena kandungan TPH pada akhir masih lebih dari 4%. Terdapat perbedaan pada semua sampel antara hasil bioaugmentasi dengan biostimulasi. Walaupun perbedaan tidak terlalu signifikan, tapi terbukti pada hasil akhir TPH pada bioaugmentasi lebih rendah dibandingkan dengan biostimulasi.

Identifikasi awal menunjukkan bahwa semua sampel memiliki senyawa yang sama. Hasil akhir menunjukkan perubahan dengan hilangnya beberapa senyawa serta perubahan luas puncak. Pada sampel B yang merupakan penurunan TPH paling baik ditemukan paling banyak senyawa yang hilang.

5 DAFTAR PUSTAKA

- [1] [AOAC] Association of Official Analytical Chemist. 1999. *Official Methods of Analysis Chemist*. Washington: Association of Official Analytical Chemist, Inc.
- [2] Bossert ID, Kosson DS. 1997. Methods for measuring hydrocarbon biodegradation in soil. *In Manual of Environmental Microbiology*. ASM Pr. Washington. 738-742.

- [3] Budiarto H. 2008. *Perbaikan Lahan Terkontaminasi Minyak Bumi Secara Bioremediasi*. Jakarta: Indonesia Environment Consultant.
- [4] Cookson JT. 1995. *Bioremediation Engineering : Design and Application*. New York: McGraw-Hill.
- [5] Daubaras D, Chakrabarty AM. 1992. The Environment, Microbes and Bioremediation: Microbial Activities Modulated by the Environment. *J Biodegradation* 3: 125-135. Kluwer Academic Pb. Netherland.
- [6] Dibble JT, Bartha R. 1979. Effect of environmental parameters on the biodegradation of oil sludge. *Applied Environ Microbiol.* 37:729-739.
- [7] Fletcher RD. 1991. Practical Consideration During Bioremediation. di dalam Wise, DL, DJ Trantolo. *Remediation of Hazardous Waste contaminated Soils*. New York: Marcel Dekker Inc.
- [8] [Kementrian Lingkungan Hidup Republik Indonesia]. 2003. Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor 128 Tahun 2003 tentang Tatacara dan Persyaratan Teknis Pengolahan Limbah Minyak Bumi dan Tanah Terkontaminasi Limbah Minyak Bumi secara Biologis. Jakarta: Departemen Lingkungan Hidup.
- [9] Morgan P, Watkinson RJ. 1994. *Biodegradation of Component Petroluem*. C Railedge, editor. Biochemistry of Microbial Degradation. Netherlands: Kluwer Academic Pb.
- [10] Nugroho A. 2006. Biodegradasi sludge minyak bumi dalam skala mikrokosmos. *Makara teknologi* 2: 82-89.
- [11] [USEPA] United State Environmental Protection Agency. 1996. *A Citizen's Guide to Bioremediation*. United State Environmental Protection Agency. <http://www.epa.gov>