



## Analisis Penambahan Kotoran Kambing dan Kuda pada Proses Bioremediasi *Oil Sludge* di Pertambangan desa Wonocolo

Siti Holifah<sup>✉</sup>, Supartono, dan Harjono

Jurusan Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Semarang  
Gedung D6 Kampus Sekaran Gunungpati Telp. (024)8508112 Semarang 50229

### Info Artikel

Diterima Januari 2018

Disetujui Februari 2018

Dipublikasikan Mei 2018

#### Keywords:

limbah minyak bumi  
bioremediasi  
mikroba indigen

### Abstrak

Bojonegoro merupakan salah satu kabupaten di Jawa Timur, yang memiliki kekayaan di bidang minyak dan gas bumi (migas) tepatnya di desa Wonocolo. Dalam proses penambangan minyak bumi akan terdapat limbah yang di hasilkan. Bioremediasi merupakan suatu proses rehabilitasi lingkungan yang tercemar dengan memanfaatkan aktivitas mikroorganisme untuk menguraikan pencemar tersebut menjadi bentuk yang lebih sederhana, tidak berbahaya, dan memberikan nilai tambah bagi lingkungan. Kotoran hewan merupakan bahan organik yang mengandung banyak mikroba, kotoran hewan dengan kandungan nutrisi terbaik adalah kotoran kambing dan kuda. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kemampuan konsorsium bakteri indigen lumpur minyak bumi dengan bakteri dari kotoran kambing dan kuda dalam mendegradasi limbah minyak bumi. Penelitian bioremediasi ini dilakukan secara bertahap yaitu isolasi, aplikasi, analisis parameter pH, TPH, TPC dan kadar air, serta analisis komponen hidrokarbon dengan *Gas Chromatography* (GC). Hasil penelitian ini diperoleh bahwa penggunaan kotoran kambing dan kuda pada bioremediasi limbah minyak bumi (*oil sludge*) mampu menjadi agen bioremediasi yang baik, dengan presentase penurunan kadar TPH tertinggi dengan proporsi limbah dalam reaktor 4:1:0 dengan presentase penurunan 68,83%. Pada waktu 5 minggu penelitian, TPH *oil sludge* terus mengalami penurunan Waktu remediasi yang dibutuhkan untuk menurunkan 100% kadar TPH pada limbah *oil sludge* dengan kotoran hewan kambing dan kuda adalah lebih dari 5 minggu, karena pada batas penelitian selama 5 minggu kadar penurunan TPH adalah sebesar 68,83%.

### Abstract

Bojonegoro is one of the districts in East Java, which has a wealth of oil and gas (oil and gas) precisely in Wonocolo village. In the process of petroleum mining there will be waste generated. Bioremediation is a contaminated environmental rehabilitation process by utilizing the activity of microorganisms to decompose these pollutants into simpler, less harmful, and add value to the environment. Animal waste is an organic material that contains many microbes, animal waste with the best nutrition content is goat and horse dung. This study aims to analyze the ability of the consortium of indigenous bacteria of oil sludge with bacteria from goat and horse manure in degrading waste petroleum. Bioremediation research is done in stages, namely isolation, application, parameter analysis are pH, TPH, TPC and water content, and analysis of hydrocarbon components with *Gas Chromatography* (GC). The results of this study found that the use of goat and horse manure on oil sludge bioremediation can be a good bioremediation agent, with the highest percentage of TPH decrease with the proportion of waste in reactor 4: 1: 0 with a percentage decrease of 68.83%. Within 5 weeks of research, TPH oil sludge continues to decrease Remediation time required to decrease 100% TPH levels in oil sludge waste with goat and horse dung is more than 5 weeks, because at the 5-week study limit the level of TPH decrease is 68.83%.

© 2018 Universitas Negeri Semarang

✉ Alamat korespondensi:

Gedung D6 Lantai 2 Kampus Sekaran, Gunungpati, Semarang 50229  
E-mail: [sitiholifah2401@gmail.com](mailto:sitiholifah2401@gmail.com)

p-ISSN 2252-6951

e-ISSN 2502-6844

## Pendahuluan

Negara-negara produsen minyak bumi terbesar bila dikombinasikan hampir memenuhi 45% dari total produksi minyak mentah dunia adalah Amerika Serikat, Arab Saudi, Russia, Kanada, dan China. Indonesia berada pada peringkat ke-24 sebagai produsen minyak bumi dunia dengan produksi minyak bumi 824.000 barrel per hari. (BP *Statistical Review of World Energy*, 2016).

Bojonegoro merupakan salah satu kabupaten di Jawa Timur, yang memiliki kekayaan di bidang minyak dan gas bumi (migas). Sumur tua di desa Wonorejo kecamatan Kedewan, merupakan salah satu kawasan penambangan migas yang sempat dieksploitasi oleh Belanda pada masa penjajahan. Berkurangnya produksi migas dan turunnya harga minyak dunia tidak menyurutkan niat masyarakat untuk mengais rezeki dari sumur tua Wonocolo. Penambangan minyak Wonocolo yang memiliki sekitar 700 sumur, mulai ditambang oleh warga pada tahun 2008, yang sebelumnya dikelola oleh Kepala Desa setempat setelah ditinggalkan oleh Belanda. Karena telah lama dieksploitasi oleh Belanda dan oknum aparat desa, sumur minyak itu sekarang mengalami penurunan produksi hasil tambang yang biasa disebut “Emas Hitam”.

Dalam proses penambangan minyak bumi tentunya akan ada limbah-limbah yang di hasilkan. Limbah lumpur minyak bumi merupakan produk yang tidak mungkin dihindari oleh setiap perusahaan pertambangan minyak bumi dan menyebabkan pencemaran terhadap lingkungan (Sumastri, 2002). Penanganan limbah minyak bumi secara fisika dan kimia tidak tuntas karena masih banyak meninggalkan residu. Untuk itu salah satu alternatif yang dikembangkan saat ini adalah proses bioremediasi yang merupakan teknologi ramah lingkungan, cukup efektif dan efisien serta ekonomis. Bioremediasi relatif memiliki biaya penangan yang lebih murah dibandingkan dengan teknologi alternatif lainnya serta sangat aman dan tidak merusak lingkungan (Morgan & Watkinson, 1994). Selain biaya yang lebih murah, output yang dihasilkan tidak bersifat toksik dan ramah lingkungan karena proses bioremediasi menggunakan kemampuan mikroba untuk mendegradasi hidrokarbon yang terdapat dalam suatu senyawa kompleks, merupakan refleksi dari kemampuan metabolik dari mikroba tersebut (Cookson, 1995).

Kemampuan mikroba dalam mendegradasi hidrokarbon telah dieksploitasi sejak tahun 70-an dan 80-an pada lahan pertanian tempat pembuangan minyak. Mikroba yang digunakan dapat berupa kultur tunggal maupun kultur campuran yang mampu mendegradasi minyak bumi. Mikroba yang digunakan dalam mendegradasi limbah minyak biasanya memiliki kemampuan degradasi yang lebih tinggi jika digunakan sebagai kultur konsorsium atau kultur campuran. Mangkoedihardjo (2005) mikroba pengurai minyak tidak bekerja secara individu/spesies tetapi berupa konsorsium yang terdiri dari berbagai spesies.

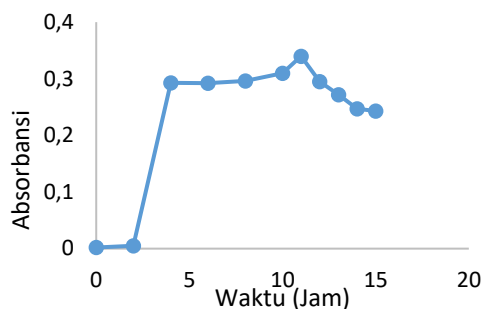
Konsorsium adalah kelompok mikroba yang saling menguntungkan satu dengan yang lainnya dan melaksanakan proses dimana masing-masing organisme tidak dapat melakukannya secara terpisah. Konsorsium mikroba sering dibuat dengan mempertimbangkan bahwa antara mikroba yang merupakan anggota konsorsium tidak berkompetisi dalam melakukan suatu proses tertentu, melainkan diharapkan antara anggota konsorsium akan mempunyai kerja yang sinergis (Sanchez, 2006). Kotoran hewan merupakan bahan aktif yang banyak mengandung mikroba selain itu kotoran hewan juga meliki kandungan nutrisi yang baik untuk pertumbuhan mikroba. Menurut Charlena (2010) komposisi kotoran kambing dan kuda mengandung unsur hara yang lebih besar dibandingkan dengan kotoran hewan lainnya. Potensi kemampuan bakteri hidrokarbonoklastik (pendegradasi hidrokarbon) yang diisolasi dari konsorsium bakteri yang berasal dari limbah minyak berat, dan kotoran hewan perlu dipelajari melalui penelitian sehingga dapat digunakan sebagai agen bioremediasi untuk mengatasi pencemaran limbah minyak berat pada lingkungan tercemar limbah minyak berat.

## Metode

Peralatan yang digunakan dalam penelitian *autoclave*, ayakan 2x2 mm<sup>2</sup>, *hotplate*, inkubator, jarum ose, neraca analitik digital *mettler toledo al204*, oven, GC (*gas chromatography*) *Agilent 6820*. Bahan yang digunakan dalam penelitian ini meliputi kotoran kambing, kotoran kuda, limbah minyak bumi pertambangan tradisional di Wonocolo, *nutrient agar*, media *standard basal salt*, aquades steril, *marine* agar, *n*-heksana teknis, spiritus, NaCl, NaOH, H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> *grade pro analyst* buatan *Merck*.

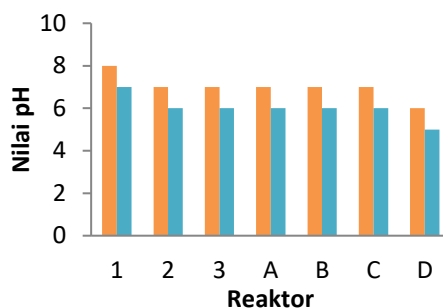
## Hasil dan Pembahasan

Isolasi bakteri dengan metode pour plate menggunakan media NA (*Nutrien Agar*) sebagai nutrisi bagi bakteri agar dapat tumbuh dan berkembang dengan baik. Isolat yang telah tumbuh dipindahkan ke media cair SBS (*Standar Basal Salt*) yang selanjutnya akan disiapkan sebagai inoculum untuk reactor penelitian yang sebenarnya. Inoculum dipindahkan pada saat awal fase stasioner sehingga diharapkan kondisi inokulum sudah stabil. Awal fase stasioner diketahui melalui pemeriksaan OD (*Optical Density*). Fase pertumbuhan terjadi antara 4-12 jam sebab pada saat 12 jam konsentrasi masa sel telah mencapai titik maksimum. Oleh karena itu, setelah 12 jam kultur dianggap telah memasuki fase stasioner.



**Gambar 1.** Kurva pembersihan

pH atau derajat keasaman merupakan salah satu faktor yang dapat menentukan keberhasilan proses bioremediasi. Nilai pH lingkungan yang tercemar juga berpengaruh terhadap kemampuan mikroorganisme baik untuk menjalankan fungsi seluler, transport membrane sel maupun keseimbangan reaksi yang dilakukan oleh mikroorganisme (Munawar, 2012). Derajat keasaman (pH) sangat berpengaruh terhadap kehidupan mikroorganisme dalam proses biodegradasi hidrokarbon. Sebagian besar biodegradasi oleh mikroorganisme terjadi pada pH netral. Nilai pH yang ekstrim, pada beberapa jenis tanah berpengaruh negatif terhadap kecepatan degradasi hidrokarbon.

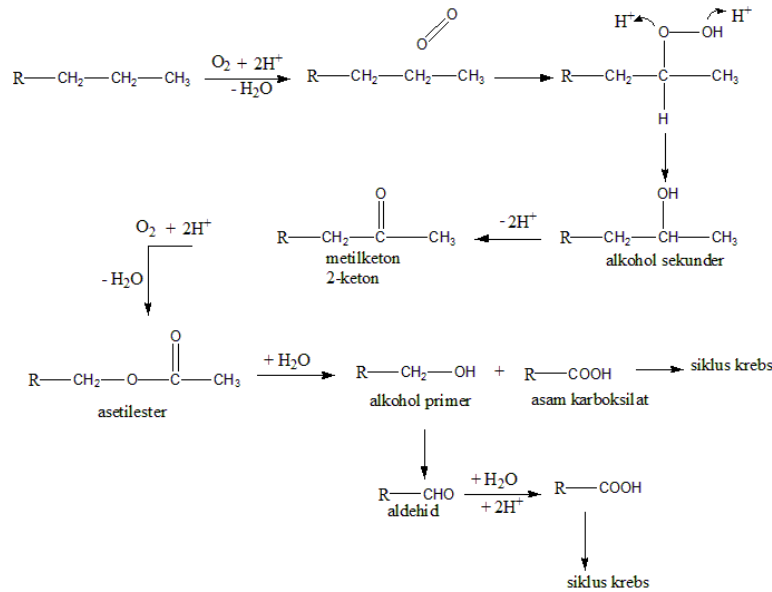


**Gambar 2.** Hasil pengukuran pH

Hasil penelitian menunjukkan bahwa pada awal pH masih berkisaran 6 sampai 8. Hal ini sesuai dengan pH optimum karena menurut Nghia (2007) pH optimum untuk biodegradasi berada kisaran 6 dan 8. Namun setelah diberi perlakuan, pH mengalami penurunan nilai pH yang menunjukkan bahwa mikroorganisme beraktivitas. Kebanyakan bakteri tumbuh pada pH netral atau sedikit alkali. pH berpengaruh pada fungsi seluler mikroorganisme, transport membran, dan keseimbangan reaksi (Cookson, 1990 dalam Mujab, 2011).

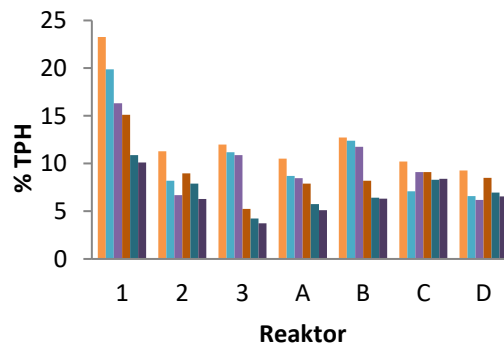
Berdasarkan hasil analisis, pada umumnya semua perlakuan mengalami penurunan nilai pH. Nilai pH medium SBS (*standar basal salt*) selama masa inkubasi (0-8 hari) mengalami perubahan dengan kisaran sebesar 6-8. Kisaran pH ini tidak jauh berbeda dengan pH optimum pertumbuhan bakteri pada umumnya. Pergeseran pH yang tidak terlalu besar karena adanya larutan penyangga berupa  $K_2HPO_4$  dalam medium SBS yang diperkaya. Penurunan harga pH disebabkan oleh aktivitas metabolisme bakteri dalam proses biodegradasi minyak bumi yang menghasilkan asam lemak sebagai produk akhirnya. Asam lemak hasil degradasi alkana dioksidasi lebih lanjut membentuk asam asetat dan asam propionat (Gambar 3).

Selain oksidasi terminal mikroba juga dapat mengoksidasi hidrokarbon alifatik melalui oksidasi subterminal. Pada jalur ini molekul oksigen dimasukkan ke dalam rantai karbon membentuk alkohol sekunder yang selanjutnya dioksidasi menjadi keton dan akhirnya ester. Kemudian ikatan ester dipecah membentuk alkohol primer dan asam lemak. Selanjutnya alkohol dioksidasi melalui aldehyd membentuk asam lemak dan kedua fragmen asam lemak akan dimetabolisme lebih lanjut melalui  $\beta$ -oksidasi (Atlas and Brtha, 1992 dalam Nugroho, 2009).



**Gambar 3.** Degradasi senyawa hidrokarbon alkane melalui jalur oksidasi subterminal (Atlas & Bartha, 1992 dalam Nugroho 2009)

*Total Petroleum Hydrokarbon* (TPH) terdiri dari campuran hidrokarbon yang terjadi dilokasi petrokimia dan area penyimpanan, lubang pembuangan limbah, penyulingan dan tempat tumpahan minyak. TPH di analisis untuk mengetahui penurunan konsentrasi hidrokarbon dalam reaktor. Pengamatan dilakukan selama 21 hari dengan 5 kali pengujian parameter TPH yang dilakukan setiap 7 hari. Aerasi dilakukan dengan cara melakukan pengadukan reaktor secara manual setiap hari. Pengadukan dilakukan untuk pertukaran oksigen yang dibutuhkan oleh mikroba yang hidup dalam kondisi aerob.

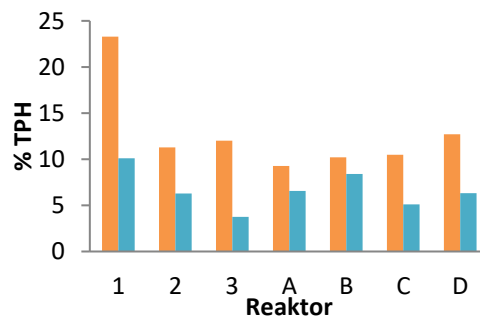


**Gambar 4.** Penurunan TPH

Dari hasil yang diperoleh menunjukkan adanya penurunan hidrokarbon dalam waktu 5 minggu. Nilai konsentrasi TPH menunjukkan kecenderungan penurunan. Kecenderungan penurunan ini juga diperlihatkan oleh reaktor kontrol 1. Hal ini dapat disebabkan oleh beberapa faktor. Faktor pertama, mikroba indigenous dalam *oil sludge* juga mempunyai kemampuan dalam menurunkan TPH walaupun tanpa penambahan kotoran kambing maupun kuda. Faktor kedua, TPH mengalami penurunan tidak hanya karena terdapat aktivitas biologi, namun akibat volatilisasi hidrokarbon rantai pendek. Volatilisasi diperkuat dengan pengadukan harian selama penelitian. Secara hipotetik, reaktor C dan D seharusnya menunjukkan penurunan yang paling baik, karena reaktor C dan D memiliki proporsi *oil sludge* lebih banyak dibandingkan reaktor A dan B. menurut Juliani & Fudhola (2011) mikroba indigenous dalam *oil sludge* berperan lebih baik dalam penurunan TPH dari pada mikroba yang terdapat dalam tanah maupun pupuk, sehingga semakin banyak proporsi *oil sludge* penurunan TPH semakin besar. Hal ini sesuai dengan penelitian yang telah dilakukan dimana reaktor C dan D memberikan hasil penurunan TPH yang baik yaitu 51,24% dan 50,23%. Namun pada penelitian ini reaktor dengan hasil penurunan paling baik adalah reaktor 3 dimana pada reaktor tersebut adalah *oil sludge* dengan kotoran kambing tanpa penambahan kotoran kuda. Hal ini juga menunjukkan bahwa, mikroba yang terdapat dalam kotoran kuda kurang berperan dalam proses degradasi hidrokarbon.

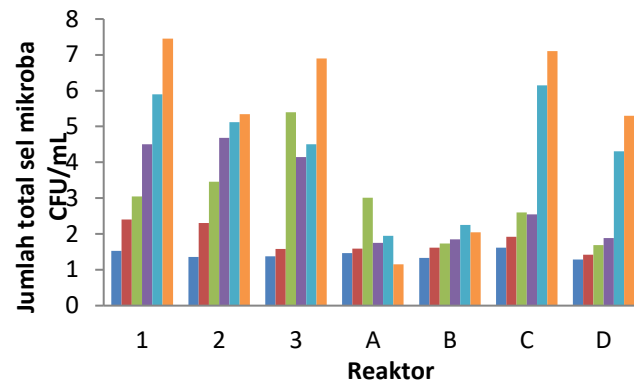
Menurut Nugroho (2006), mikroba tidak dapat merombak senyawa hidrokarbon bisa jadi karena mikroba yang ada dalam kotoran kuda belum pernah berhubungan dengan minyak bumi dalam proses evolusinya, dan kemungkinan mikroba tidak memiliki enzim yang diperlukan dalam proses degradasi hidrokarbon. Mikroba dalam kotoran kuda belum pernah berhubungan dengan minyak bumi pada proses evolusinya, sehingga ketika dipaparkan dalam reaktor yang mengandung limbah minyak bumi mikroba-mikroba tersebut belum mampu mensintesis enzim katabolik yang sesuai untuk mendegradasi hidrokarbon dalam *oil sludge*, bahkan mungkin mati karena tidak mampu hidup dalam kondisi lingkungan yang cukup toksik. Hal ini menunjukkan bahwa peran kotoran kuda dalam proses bioremediasi hanya *bulking agent* (pemberi nutrisi). Sebaliknya, mikroba indigenous telah terbiasa hidup dilingkungan toksik *oil sludge* dan akhirnya mampu mensintesis enzim katabolik untuk degradasi hidrokarbon. kotoran kuda memiliki peran dalam degradasi hidrokarbon, hal ini ditunjukkan dengan reaktor 3 lebih besar penurunan TPH dari pada dengan reaktor 1 dimana dalam reaktor 1 hanya terdapat *oil sludge* tanpa penambahan bulking agent kotoran kambing maupun kotoran kuda. Hal ini dapat dikarenakan dalam kotoran kambing terdapat mikroba yang mampu mendegradasi hidrokarbon seperti *pseudomonas sp.* Sehingga selain sebagai pemberi nutrisi kotoran kambing juga memiliki kemampuan untuk mendegradasi hidrokarbon. hasil penelitian mungkin dapat berbeda apabila waktu pengamatan diperpanjang, sehingga mikroba yang terdapat dalam kotoran kuda dapat terbiasa dengan lingkungan toksik *oil sludge* dan lambat laun dapat mensintesa enzim katabolik untuk mendegradasi hidrokarbon.

Cookson (1995) menjelaskan senyawa hidrokarbon digunakan oleh mikroba sebagai sumber energi untuk melakukan metabolisme dan perkembangbiakan. Terjadinya proses degradasi senyawa hidrokarbon secara mekanisme berlandaskan pada prinsip bioremediasi dimana kelompok mikroba karbonklastik melakukan proses perombakan senyawa hidrokarbon dengan enzim pengoksidasi hidrokarbon, sehingga mikroba mampu mendegradasi senyawa hidrokarbon minyak bumi dengan memotong rantai hidrokarbon menjadi lebih pendek. Selain itu, mikroba karbonklastik memiliki mekanisme untuk membebaskan diri (desorption) dari hidrokarbon. Sintesis enzim pengoksidasi hidrokarbon dikode oleh kromosom mikroba dan plasmid yang termutasi. Mutasi kromosom dan plasmid mempengaruhi proses pemecahan molekul hidrokarbon. senyawa hidrokarbon merupakan senyawa organik alami, oleh karena itu banyak jenis mikroba yang berevolusi untuk menggunakan senyawa hidrokarbon. peningkatan populasi mikroba akan terjadi jika suatu lingkungan kaya akan kandungan hidrokarbon. hal tersebut terbukti dengan penelitian dimana dengan proporsi lumpur minyak lebih banyak reaktor 3 memiliki presentase penurunan kadar petroleum hidrokarbon lebih tinggi dibandingkan dengan proporsi lumpur yang lebih sedikit.



**Gambar 5.** Penurunan TPH selama 5 minggu pengamatan

Dari hasil pengamatan dapat diketahui bahwa reaktor 3 memiliki penurunan TPH yang paling baik dari pada reaktor lainnya. Uji Total Plate Count (TPC) dilakukan untuk melihat aspek mikrobiologis dari setiap reaktor. Melalui uji ini, jumlah total mikroba yang ada dalam setiap reaktor dihitung. Pengujian parameter jumlah total bakteri (*Total Plate Count*) dilakukan dengan 5 kali pengujian sampel setiap 7 hari.



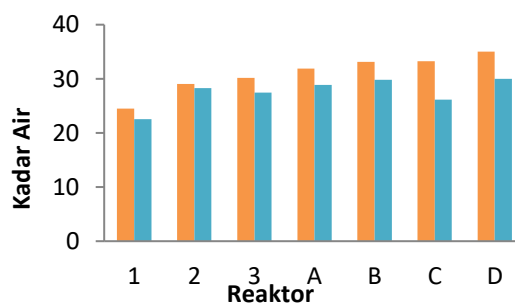
**Gambar 6.** Jumlah mikroba selama proses bioremediasi

Aktivitas mikroba dalam reaktor melibatkan 3 kelompok mikroba yaitu kelompok mikroba indigenous yang telah ada dalam lumpur minyak (*oil sludge*), kelompok mikroba hasil pembenihan (inokulasi), serta kelompok mikroba yang berasal dari kotoran kambing dan kuda. Keterlibatan dari ketiga kelompok mikroba tersebut memiliki peran penting dalam proses pendegradasi hidrokarbon.

Secara umum, TPC menurun pada minggu pertama setelah inokulasi. Kemungkinan pada kurun waktu tersebut, mikroba berada pada fase adaptasi. Mikroba yang tidak dapat menyesuaikan diri terhadap lingkungan yang baru mengalami kematian. Namun pada minggu-minggu berikutnya mikroba yang mampu bertahan sudah beradaptasi dan berkembang biak dengan cepat pada minggu-minggu berikutnya. Hal ini diperkuat dengan data pada tabel. Nilai TPC dari reaktor 1 dan reaktor yang memiliki proporsi *oil sludge* lebih banyak menunjukkan hasil TPC yang lebih besar. Hal ini dikarenakan mikroba yang terdapat pada reaktor tersebut memiliki lebih banyak bakteri indigenous, mikroba indigenous telah terbiasa dengan kondisi toksik *oil sludge*, mikroba ini mampu bertahan hidup dan berkembang biak dalam kondisi lingkungan reaktor.

Perbedaan pertumbuhan pada masing-masing perlakuan disebabkan karena proses adaptasi yang berbeda-beda. Bakteri akan menunjukkan perbedaan pola pertumbuhan, periode waktu yang dibutuhkan untuk tumbuh maupun beradaptasi, dan metabolit yang dihasilkan. Panjang atau pendeknya waktu adaptasi sangat ditentukan oleh jumlah sel yang diinokulasikan, kondisi fisiologis dan morfologis yang sesuai serta media kultivasi yang dibutuhkan (Yuliani, 2008). Kelompok bakteri pendegradasi membentuk pola pertumbuhan yang berfluktuasi. Fluktuasi ini terjadi sebagai akibat terjadinya suksesi dalam ekosistem (Nugroho, 2007).

Pengujian kadar air bertujuan untuk mengetahui jumlah air yang ada dalam reaktor. Karena air dapat mempengaruhi keberadaan kontaminan, transfer gas, tingkat toksisitas kontaminan, perpindahan dan pertumbuhan mikroorganisme. Kadar air yang terlalu rendah dapat membatasi pergerakan mikroba dan menghambat metabolisme sel mikroba. Kadar air yang diukur dapat berdasarkan berat material basah (berat basah) atau material kering (berat kering).



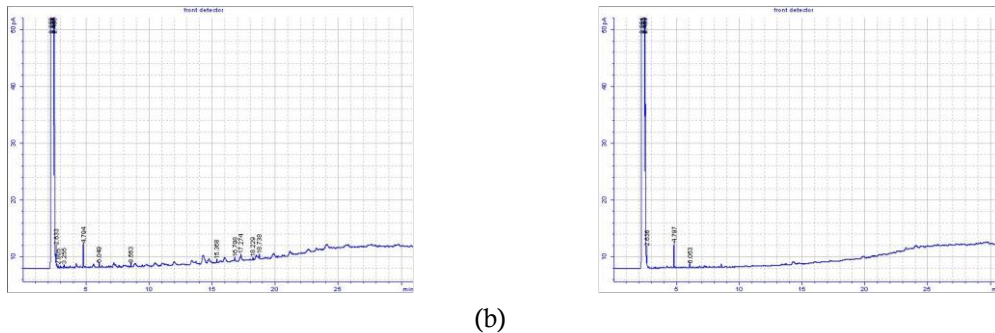
**Gambar 7.** Perubahan kadar air

Kadar air tanah adalah berkisar dari 15% sampai 100%. Untuk proses bioremediasi *oil sludge* dengan bulking agent kadar air untuk mengoptimalkan proses degradasi hidrokarbon tidak boleh melebihi 60% (Cookson, 1995). Karena keterbatasan persediaan air untuk metabolisme dan pertumbuhan mikroba merupakan penyebab lain dari keterbatasan biodegradasi hidrokarbon di lingkungan tanah. Dari hasil analisis dapat diamati kadar air pada proses bioremediasi berkisar dari 20% sampai 40%. Berdasarkan hasil analisis terjadi penurunan kadar air pada setiap reaktor. Hal ini dapat disebabkan karena proses aerasi atau



pengadukan yang dilakukan selama penelitian yang menyebabkan penguapan. Menurut Doerfeer dalam Juliani & Fudhola (2011), senyawa hidrokarbon akan mengalami degradasi secara alami karena faktor-faktor lingkungan, meskipun laju degradasi berjalan lambat. Hal tersebut meliputi penguapan, teremulsi dalam air, teradsorpsi pada partikel padat, tenggelam dalam perairan serta biodegradasi oleh mikroba. Secara tidak langsung kadar air yang mengalami proses penguapan dapat menurunkan konsentrasi hidrokarbon, terutama senyawa dengan berat molekul rendah yang biasanya bersifat toksik.

Analisis uji parameter GC dilakukan di laboratorium kimia instrument Universitas Negeri Semarang. Analisis dengan GC bertujuan untuk melihat kelimpahan senyawa selama proses penelitian berlangsung. Selama proses bioremediasi berlangsung, mikroba akan mentransformasikan komponen hidrokarbon yang berantai panjang sehingga akan memperlihatkan perubahan komposisi fraksi hidrokarbon penyusunnya (Nugroho, 2006). Sampel yang dianalisis dengan GC berasal dari reaktor 3 yang menunjukkan aktivitas degradasi terbaik yaitu reaktor yang mengalami penurunan TPH paling tinggi. Hasil analisis GC dapat dilihat pada Gambar 8.



**Gambar 8.** Hasil analisis GC komponen hidrokarbon (a) komponen hidrokarbon minggu ke- 0 (b) komponen hidrokarbon minggu ke- 5

Pada sampel *oil sludge*, muncul 14 puncak yang mewakili jumlah senyawa hidrokarbon dan penyusunnya. Hasil analisis terhadap sampel pada reaktor 3, memperlihatkan penurunan jumlah puncak yang muncul menjadi 6 puncak. Penurunan jumlah puncak tersebut dapat diartikan menguapnya senyawa-senyawa hidrokarbon rantai pendek serta menunjukkan bahwa aktivitas biodegradasi oleh mikroba.

### Simpulan

Simpulan dari penelitian yang dilakukan pada limbah lumpur minyak bumi (*oil sludge*) menggunakan kotoran kambing dan kuda sebagai bulking agent menunjukkan bahwa Penambahan kotoran hewan kambing dan kuda pada bioremediasi limbah minyak bumi (*oil sludge*) mampu dijadikan agen bioremediasi yang baik, dengan presentase penurunan kadar TPH tertinggi pada reaktor 3 dengan proporsi *oil sludge* dalam reaktor 4:1:0 dengan presentase penurunan 68,83%. Pada waktu 5 minggu penelitian, TPH *oil sludge* terus mengalami penurunan Waktu remediasi yang dibutuhkan untuk menurunkan 100% kadar TPH pada limbah *oil sludge* dengan penambahan kotoran hewan kambing dan kuda adalah lebih dari 5 minggu, karena pada batas penelitian selama 5 minggu kadar penurunan TPH adalah sebesar 68,83%.

### Daftar Pustaka

- Atlas, M.R., Bartha, R. 1998. *Microbial Ecology: Fundamentals and Applications*. 4<sup>th</sup> edition. benjamin/Cummings Publishing Company, Inc
- BP Statistical Review of World Energy. 2016. *BP Statistical Review of World Energy has provided high-quality objective and globally consistent data on world energy markets*. USA: US Securities and Exchange
- Charlena. 2010. *Bioremediasi Tanah Tercemar Limbah Minyak Berat Menggunakan Konsorsium Bakteri*. Thesis Magister IPB. Bogor
- Cookson, J.T. Jr. 1995. *Bioremediation Engineering Design and Application*. Mc Graw-Hill, Inc. USA
- Juliani, Any., F. Rahman. 2011. Bioremediasi Lumpur Minyak (*Oil sludge*) dengan Penambahan Kompos sebagai Bulking Agent dan Sumber Nutrisi Tambahan. *Jurnal Sains dan Teknologi Lingkungan*, 3: 1-18
- Kementrian Lingkungan Hidup. 2003. *Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor 128 Tahun 2003 tentang Tata Cara dan Persyaratan. Teknis Pengolahan Minyak Bumi dan Tanah Terkontaminasi Limbah Minyak Bumi secara Biologis*. Jakarta: Departemen Lingkungan Hidup

- Kristianto, P. 2002. *Ekologi Industri*. Jakarta: Penerbit Andi
- Mangkoedihardjo, S. 2005. Seleksi Pemilihan untuk Ekosistem Laut Tercemar. *Seminar Nasional Teori dan Aplikasi Teknologi Kelautan*. Institute Teknologi Sepuluh November Surabaya
- Munawar. 2012. Bioremediasi Tumpahan Minyak dengan Metode Biostimulasi Nutrien Organik di Lingkungan Pantai Surabaya Timur. *Berk Panel Hayati*, 13: 91-96
- Nghia, N.K. 2007. Degradation of Aged Creosote and Diesel Contaminated Soils by Phytoremediation or Biostimulation (nutrients). *Thesis in Soil Science*. Sveriges lantbruksuniversitet
- Nugroho, A. 2006. Bioremediasi *Oil sludge* Minyak Bumi dalam Skala Mikroskopis: Simulasi Sederhana Sebagai Kajian Awal Bioremediasi *Land Treatment*. *Mukaru Teknologi*, 10(2): 82-89
- Nugroho, A. 2007. Dinamika Populasi Konsorsium Bakteri Hidrokarbonoklastik: Studi Kasus Biodegradasi Hidrokarbon Minyak Bumi Skala Laboratorium. *Jurnal ILMU DASAR*, 8(1): 13-23
- Nugroho, A. 2009. Produksi Gas Hasil Biodegradasi Minyak Bumi: Kajian Awal Aplikasinya dalam Microbial Enhanced Oil Recovery (MEOR). *Makara Sains*, 13(2): 111-116
- Obiakalaje, U.M., Makinde, O.A., Amakoromo, E.R. 2013. Bioremediation of Crude Oil Polluted Soil using Animal Waste. *International Journal Of Environmental Bioremediation And Degradation*, 3: 79-85
- Rump, H.H., Weinheim, H.K. 1992. *Laboratorium Manual for The Examination of Water, Wastewater and soil*. VCH
- Sanchez, O. 2006. *A Consortium of Bacteria to Degrade Petrol*. Department de Genetica de Microbiologia. Universitat Autònoma de Barcelona
- Sumastri. 2002. *Bioremediasi Lumpur Minyak Bumi secara Pengomposan Menggunakan Kultur Bakteri Hasil Seleksi*. Bandung