

BIOREMEDIASI LAHAN TERCEMAR MINYAK TANAH DENGAN METODA BIOPILE

BIOREMEDIATION OF KEROSENE CONTAMINATED LAND USING BIOPILE METHOD

Novirina Hendrasarie* dan Novi Eka
Jurusan Teknik Lingkungan-FTSP, UPN Veteran Surabaya
Jl. Raya Rungkut Madya, Surabaya 60294
***e-mail: hendrasarie@yahoo.com**

Abstrak

Biopile adalah salah satu metode bioremediasi dengan cara pengomposan. Timbunan kompos secara umum digunakan sebagai bahan pelonggar untuk meningkatkan porositas dengan memberikan permeabilitas udara yang lebih baik. Tujuan dari penelitian ini adalah menurunkan kandungan kontaminan hidrokarbon dalam tanah dan mengidentifikasi jenis mikroorganisme tanah yang mampu mendegradasi senyawa hidrokarbon dengan teknik biopile menggunakan kompos. Dalam penelitian ini digunakan minyak tanah sebagai senyawa hidrokarbon yang diuji. Sebuah reaktor yang dilengkapi dengan aerator disiapkan untuk proses bioremediasi. Variasi penambahan kompos adalah 15%, 20%, 25%, dan 30% terhadap kuantitas tanah dan komposisi mikroorganisme adalah 8%, 10%, 12%, dan 14%. Kondisi lingkungan yang masih dapat dikontrol adalah pH 6-9, suhu 27-30° C, dan kelembaban tanah 50-75%, dengan suplai udara 2 kPa. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa penurunan kadar total hidrokarbon yang optimal berlangsung pada variasi 25% kompos dengan 14% mikroorganisme. Efisiensi penyisihan minyak tanah optimum 84,08%. Proses penurunan konsentrasi TPH terjadi secara optimal pada suhu 28-30° C, pH 6,61-6,94, dan kelembaban 48,83-76,58%. Mikroorganisme yang mampu mendegradasi senyawa hidrokarbon yang akan diidentifikasi adalah bakteri *Micrococcus* (famili Micrococcaceae), keluarga *Spirillum* (famili Spirillaceae), dan *Bacillus* (Bacillaceae).

Keywords: bioremediasi, hidrokarbon, minyak tanah

Abstract

Biopile is one of several bioremediation methods in compost production process. A pile of compost in general is used as loosening material to increase porosity by providing better permeability. The aim of this research were to remove hydrocarbon contaminant in soils, and to identify soil microorganisms, which degraded the hydrocarbon using compost biopile technique. Kerosene was used as the hydrocarbon compound. Reactors, which were equipped with aerators, were prepared for conducting this research. Variations of compost addition were 15%, 20%, 25%, and 30% of the reactor volume, whereas the microorganism composition were 8%, 10%, 12%, and 14% of the reactor volume. Environmental condition of the reactor was maintained at pH values of 6-9, temperature of 27-30°C, and soil humidity of 50-75%, with air supply of 2 kPa. The results of this research showed that the optimal removal of Total Petroleum Hydrocarbon (TPH) was obtained at compost addition variation of 25% with microorganism composition of 14%. The optimum TPH removal efficiency was 84.08%. The TPH removal occurred optimally in temperature range of 28-30°C, pH range of 6.61-6.94, and humidity range of 48.83-76.58%. Microorganisms which degraded the hydrocarbon compound comprised *Micrococcus* (family Micrococcaceae), *Spirillum* (family Spirillaceae) and *Bacillus* (family Bacillaceae).

Keywords: bioremediation, hydrocarbon, kerosene

1. PENDAHULUAN

Pencemaran lingkungan tanah belakangan ini mendapat perhatian yang cukup besar karena globalisasi perdagangan menerapkan peraturan ekolabel yang ketat. Sumber pencemar tanah umumnya adalah logam berat dan senyawa aromatik beracun yang dihasilkan melalui kegiatan pertambangan dan industri (Sutedjo, 1992). Pada saat ini proses pemulihan kondisi tanah yang paling diminati, yaitu dengan cara biologi karena proses yang diterapkan lebih aman serta hasil akhirnya lebih ramah lingkungan dibandingkan dengan cara fisika dan kimia (Adisoemarto, 1994). Adapun cara biologi yang dipakai dalam penelitian ini adalah teknik bioremediasi.

Bioremediasi adalah proses pengolahan limbah dan pencemaran lingkungan atau upaya pemulihan biologis dengan menggunakan bakteri atau mikroorganisme (organisme hidup) (Eweis *et al.*, 1998). Prinsip yang digunakan yaitu pemanfaatan mikroorganisme untuk mendegradasi hidrokarbon yang terkandung dalam kerosin yang sudah mencemari tanah. (Baker & Herson, 1994). Dari permasalahan di atas, maka digunakan sistem bioremediasi untuk mendegradasi hidrokarbon dalam tanah tercemar tersebut.

Teknik bioremediasi yang digunakan dalam penelitian ini adalah biopile. Biopile ialah suatu sistem di mana material yang akan didegradasi dipersiapkan pada suatu tempat dan diberi sistem perpipaan yang dihubungkan dengan blower atau kompresor. (Kiikkila, *et.al.* 2001). Aerasi pada sistem biopile dicapai melalui cara positif atau negatif (hisap). Aerasi, pada umumnya, memakai, yaitu *vacum* (hisap) karena mampu meminimasi emisi dari komponen yang mudah menguap (*volatile*) (Cookson, 1995). Aliran udara dalam biopile digunakan untuk mengontrol suhu dan kandungan oksigen

dalam tanah. *Layout* dari lubang pipa dan laju aerasi digunakan sebagai parameter penting dalam merancang sistem biopile dan biasanya disesuaikan dengan kebutuhan. Pipa di dasar biasanya ditanam pada sebuah lapisan yang mempunyai permeabilitas tinggi. Jaringan pipa pada beberapa elevasi untuk aerasi dan untuk mengantarkan nutrisi dan kelembapan (Eweis *et al.*, 1998).

Beberapa hal yang perlu diperhatikan dalam pelaksanaan sistem biopile antara lain adalah bahan penggembur, komposisi tumpukan tanah, kelembapan tanah, nutrisi, dan sistem aerasi biopile. Penambahan dari bahan penggembur ditujukan untuk mencegah pemadatan tanah serta menambah porositas dan penyediaan oksigen. Macam-macam *bulking agent* (penggembur) antara lain, jerami, rumput kering, sekam padi, serat tanaman yang lain, *woodchips*, dan material sintetis (Savage *et al.*, 1985, dalam Eweis *et al.*, 1998).

Salah satu kunci kesuksesan proses komposting, yaitu mengetahui komposisi campuran yang benar. Suatu amandemen tentang kombinasi sumber panas dan *bulking agent* diberikan untuk mempercepat pengomposan, selain itu amandemen ini juga digunakan sebagai sumber bibit mikroba (Vieira, *et al.* 2009). Stegman *et al.* (1991, dalam Eweis *et al.*, 1998) menyebutkan bahwa dari hasil studi laboratorium pada tanah terkontaminasi bahan bakar diesel menunjukkan massa kompos yang lebih tinggi (campuran tanah dengan kompos) akan meningkatkan aktivitas mikroba dan baik untuk menurunkan hidrokarbon. Hasil terbaik adalah dalam rasio tanah:kompos = 2:1 (pada berat kering).

Penjagaan kelembapan dapat meningkatkan pertumbuhan mikroba (Pelczar, *et al.* 1993). Kelembapan diukur sebagai persentase dari kapasitas simpanan air lebih tinggi daripada yang tidak ditambahkan penggembur. Persamaan kelembapan tanah sekitar 60% dari kapasitas simpanan air sudah optimal untuk

aktivitas mikroba pada campuran kompos dan tanah (Stegmann *et al.*, 1991 dalam Eweis *et al.*, 1998).

Nutrisi yang diperlukan oleh mikroorganisme dalam proses bioremediasi, yaitu berupa nutrisi alami dalam tanah dan nutrisi tambahan. (Rini, 2007) Nutrisi alami berupa elemen-elemen kimia dalam tanah, sumber karbon yang diperoleh dari pencemar, hidrogen dan oksigen yang disuplai oleh air. Perbandingan C:N:K = 100:10:1 (Stegman *et al.*, 1991, dalam Eweis *et al.*, 1998).

Laju aerasi yang digunakan harus cocok untuk aktivitas mikroba. Ketika proses degradasi dimulai dan percepatan aktivitas mikroba yang dibutuhkan adalah oksigen dalam jumlah yang tinggi, suhu dibangun dengan cepat, dan diperlukan aliran udara yang tinggi (Owsianiak, 2009).

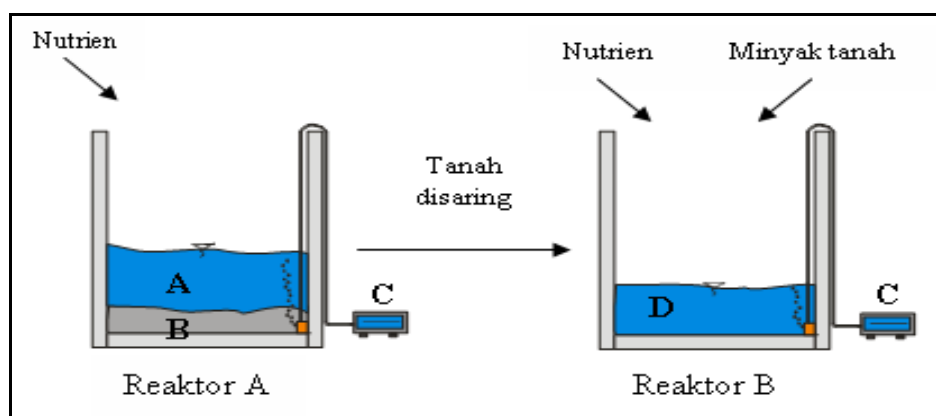
Bahan pencemar dari penelitian ini, adalah minyak tanah, yaitu cairan hidrokarbon yang tidak berwarna dan mudah terbakar (Millioli, 2009). Minyak ini diperoleh dengan cara distilasi fraksional dari petroleum pada 150°C dan 275°C (rantai karbon dari C12 sampai C15). (McMillen, 1998). Minyak ini banyak digunakan sebagai bahan bakar lampu minyak tanah, kompor minyak, dan juga digunakan

sebagai bahan bakar mesin jet. Nama kerosin berasal dari bahasa Yunani yaitu *keros*. Titik didih minyak tanah adalah sebesar 85-105°C (Anonim, 2007). Berdasarkan sifat minyak tanah yang mudah terbakar, minyak ini tergolong sebagai bahan berbahaya dan beracun (B3). Berdasarkan PP No. 85 tahun 1999 tentang pengolahan limbah B3, bahwa limbah minyak termasuk limbah B3 sehingga harus diolah, tidak boleh dibuang ke tanah atau *landfill* yang tidak terlindungi.

2. METODA

Tahap Aklimatisasi

Penelitian ini meliputi 2 tahap, yaitu penelitian pendahuluan dan penelitian utama. Pada penelitian pendahuluan ini dilakukan proses aklimatisasi mikroorganisme. Tahapan ini dilakukan untuk mengkondisikan dan membiasakan mikroorganisme untuk menggunakan minyak tanah sebagai sumber karbon dalam pertumbuhannya. Mikroorganisme yang akan diaklimatisasi diperoleh dari sampel tanah yang tercemar. Sampel tanah tercemar tersebut ditambahkan air dan diaerasi. Selanjutnya sampel tanah dan air dipisahkan. Tahapan ini berlangsung selama 30 hari (Masyruroh, 2004). Reaktor yang digunakan pada tahap aklimatisasi dapat dilihat pada Gambar 1.



Keterangan: A = Air PDAM sebanyak ± 1 L
B = Tanah yang tercemar minyak tanah
C = Aerator
D = Air hasil saringan dari Reaktor A

Gambar 1. Reaktor Aklimatisasi

Penyesuaian mikroorganisme dimulai pada hari ke-13, yaitu dengan mulai ditambahkan minyak tanah ke dalam reaktor aklimatisasi. Konsentrasi minyak tanah yang ditambahkan pada hari ke-13 sebesar 0,2 mL/L. Pada hari ke-14 dilakukan pengukuran VSS, hasil pengukurannya menunjukkan penurunan konsentrasi mikroorganisme. Hal ini disebabkan mikroorganisme yang belum terbiasa untuk mengkonsumsi minyak tanah sebagai sumber karbon, sehingga banyak yang mati.

Pada hari ke-16 dilakukan kembali pengukuran VSS, hasilnya menunjukkan adanya peningkatan konsentrasi mikroorganisme. Hal ini berarti mikroorganisme telah dapat mengkonsumsi minyak tanah sebesar 0,2 mL/L sebagai sumber karbonnya. Penambahan konsentrasi minyak tanah ditingkatkan, yaitu sebesar 0,4 mL/L pada hari ke-17. Pengukuran VSS dilakukan kembali pada hari ke-18, ternyata hasilnya menunjukkan penurunan konsentrasi mikroorganisme. Hal ini disebabkan mikroorganisme yang belum terbiasa untuk mengkonsumsi minyak tanah sebesar 0,4 mL/L sebagai sumber karbonnya. Pada hari ke-20 kembali dilakukan pengukuran, dan hasilnya menunjukkan peningkatan konsentrasi mikroorganisme. Penambahan konsentrasi minyak tanah ditingkatkan menjadi 0,6 mL/L pada hari ke-21.

Pada hari ke-22 dilakukan pengukuran, dari hasil pengukuran menunjukkan konsentrasi mikroorganisme yang masih mengalami penurunan. Mulai hari ke-23 sampai hari ke-26 tidak dilakukan penambahan konsentrasi minyak tanah, hal ini bertujuan agar konsentrasi minyak tanah yang telah ditambahkan dapat didegradasi terlebih dahulu. Sehingga diharapkan nanti pada saat penambahan konsentrasi minyak tanah yang lebih besar, konsentrasi mikroorganisme tidak mengalami penurunan yang besar.

Penambahan konsentrasi terakhir sebesar 0,8 mL/L pada hari ke-27. Pada hari ke-28 dilakukan pengukuran dan hasilnya menunjukkan

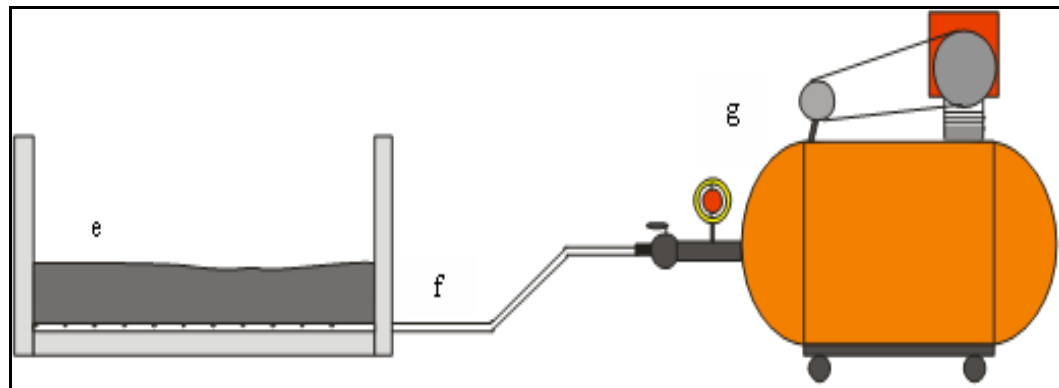
bahwa konsentrasi mikroorganisme stabil. Hal ini membuktikan bahwa mikroorganisme sudah mulai banyak yang mampu mendegradasi minyak tanah sebagai sumber karbonnya.

Penelitian Utama

Pada penelitian utama ini dilakukan proses bioremediasi. Reaktor diisi dengan tanah yang tercemar minyak tanah, kompos organik, serta bakteri yang diperoleh dari hasil aklimatisasi. Kemudian dilakukan aerasi pada reaktor selama 30 hari. Selama proses aerasi disemprotkan air untuk menjaga kelembaban tanah. Reaktor yang digunakan pada proses bioremediasi dapat dilihat pada Gambar 2.

Pelaksanaan penelitian ini memiliki beberapa ketetapan, antara lain pH tanah antara 6-9, kelembaban tanah antara 50-75%, dan rentang suhu tanah antara 25-35°C. Variabel yang digunakan pada penelitian ini adalah penambahan mikroorganisme dan penambahan kompos. Penambahan mikroorganisme sebesar 8, 10, 12, dan 14% terhadap volume reaktor. Sedangkan penambahan volume kompos sebesar 15, 20, 25, dan 30% terhadap volume reaktor. Dalam penelitian ini digunakan 12 reaktor. Reaktor 1-4 menggunakan variabel penambahan mikroorganisme 8% serta penambahan kompos 15, 20, 25, dan 30%. Reaktor 5-8 menggunakan variabel penambahan mikroorganisme 10% dan penambahan kompos sama dengan reaktor 1-4. Reaktor 9-12 menggunakan variabel penambahan mikroorganisme 12% dan penambahan kompos sama dengan reaktor 1-4. Reaktor 13-16 juga menggunakan variabel penambahan kompos sama dengan reaktor 1-4 tetapi dengan penambahan mikroorganisme 14%. Digunakan pula 4 reaktor tambahan sebagai reaktor blanko tanpa penambahan mikroorganisme dan kompos.

Massa jenis kompos harus diketahui untuk mengetahui jumlah kompos yang harus ditambahkan pada reaktor. Massa jenis kompos yang digunakan sebesar 0,8 g/cm³. Volume kompos yang ditambahkan pada reaktor dapat



Keterangan: e = Tanah tercemar minyak tanah + kompos organik + mikroorganisme
f = Selang suplai udara
g = Kompresor

Gambar 2. Reaktor Bioremediasi

diketahui dengan mengalikan persentase variabel penambahan kompos tiap reaktor dengan volume tanah yang digunakan pada tiap reaktor. Volume tanah yang digunakan pada tiap reaktor sebesar 528 m^3 . Berat kompos yang ditambahkan pada reaktor diperoleh dengan mengalikan volume kompos yang diperoleh dari perhitungan sebelumnya dengan massa jenis kompos.

Mikroorganisme hasil aklimatisasi yang ditambahkan pada tiap reaktor berupa fase cair. Banyaknya mikroorganisme yang ditambahkan pada tiap reaktor (volume mikroorganisme) dapat diketahui dengan mengalikan persentase variabel penambahan mikroorganisme yang telah ditetapkan dengan volume tanah pada tiap reaktor.

Analisis *Total Petroleum Hydrocarbon* (TPH)

Nilai TPH dapat dihitung dengan persamaan (1).

$$\text{TPH} = \frac{(B - A)}{5 \text{ g}} \times 1000 = \dots\dots \text{g/kg} \dots\dots (1)$$

Nilai A merupakan berat cawan kosong yang telah dipanaskan dalam oven 105°C selama 1 jam dan telah didinginkan dalam desikator. Nilai B merupakan berat cawan yang diisi dengan supernatan. Supernatan tersebut diperoleh dari sampel tanah yang telah diekstraksi

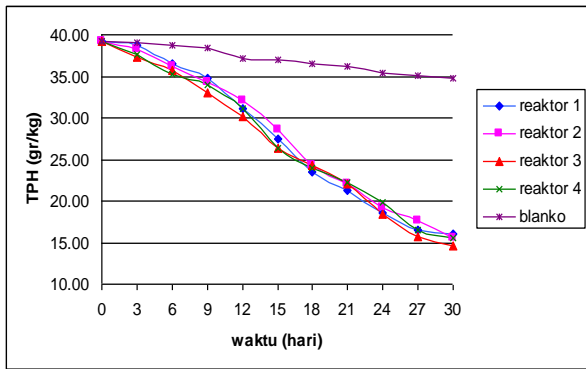
menggunakan n-heksana. Sebanyak 5 g sampel tanah dimasukkan ke dalam tabung vial 15 mL. Setelah itu ditambahkan dengan 10 mL n-heksana dan di shaker selama 2 jam dengan kecepatan 150 rpm. Larutan tersebut disaring untuk memperoleh supernatannya. Supernatan dimasukkan dalam cawan yang telah ditimbang. Sebelum berat cawan berisi supernatan ditimbang, terlebih dahulu cawan tersebut dipanaskan dalam oven 70°C untuk menguapkan n-hexana.

3. HASIL ANALISIS

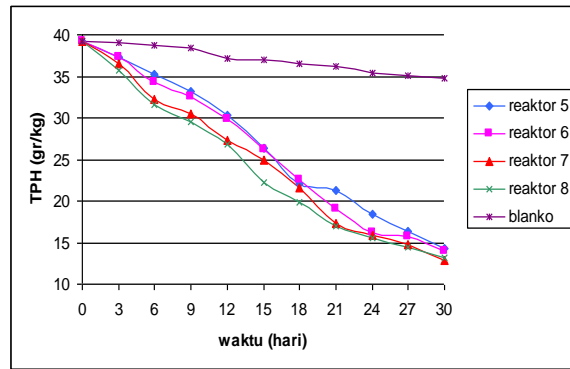
Pengaruh Penambahan Kompos Pada Proses Degradasi TPH

Peranan penambahan kompos dapat menurunkan konsentrasi TPH dalam waktu proses 30 hari. Grafik yang menunjukkan hal tersebut dapat dilihat pada Gambar 3.

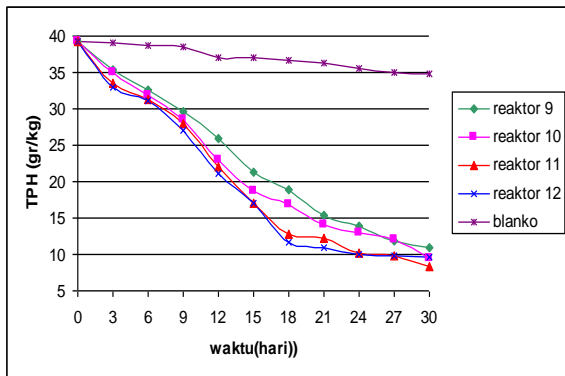
Pada Gambar 3a, 3b, 3c, dan 3d dapat dilihat tren grafik yang berbeda. Meskipun memiliki tren yang berbeda namun secara keseluruhan gambar-gambar tersebut menunjukkan bahwa penambahan kompos pada reaktor dapat menurunkan konsentrasi TPH dalam waktu yang sama. Penambahan kompos dimulai dari 15% (Gambar 5a), namun dengan penambahan ini penurunan konsentrasi TPH tidak terlalu jauh. Konsentrasi TPH turun antara 0,1-0,2 g/kg tiap harinya.



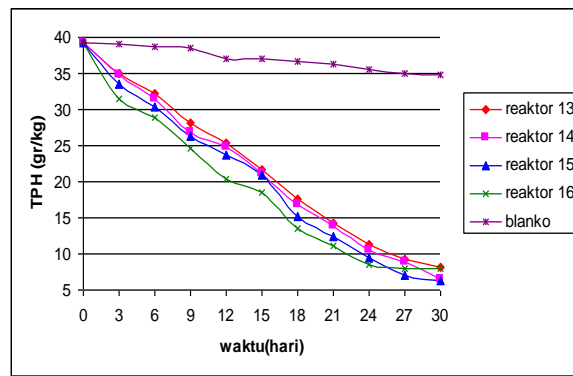
(a) Penambahan Kompos 15%



(b) Penambahan Kompos 20%



(c) Penambahan Kompos 25%



(d) Penambahan Kompos 30%

Gambar 3. Pengaruh Penambahan Kompos Terhadap Penyisihan TPH

Penambahan kompos diteruskan menjadi 20% (Gambar 5b), 25% (Gambar 5c), sampai 30% (Gambar 5d). Dalam penambahan ini, kerja mikroorganisme mulai meningkat dan menunjukkan bahwa konsentrasi TPH turun lebih banyak dibandingkan dengan penambahan kompos sebanyak 15% yaitu 0,3-0,5 g/kg tiap harinya.

Ditinjau dari penurunan konsentrasi TPH juga berhubungan dengan penambahan kompos yang dilakukan. Hubungan antara penambahan kompos terhadap persentase penyisihan TPH dapat dilihat pada Tabel 1 dan Gambar 4.

Secara keseluruhan terlihat pada penambahan kompos 20%, persentase penyisihan TPH mulai meningkat. Pada penambahan kompos 25%, persentase penyisihan TPH mengalami peningkatan puncak. Sedangkan untuk pe-

nambahan kompos 30%, persentase penyisihan TPH justru mengalami penurunan. Dari gambar 4 diperoleh komposisi kompos terbaik untuk mendapatkan persentase (%) penyisihan terbesar. Komposisi kompos terbaik adalah 25%, jika diubah dalam ukuran gram maka sama dengan 105,6 g atau 2:1,1 terhadap sampel tanah 200 g. Hal ini menunjukkan bahwa penambahan kompos berfungsi memberikan sifat *porous* pada substrat. Apabila penambahan terlalu sedikit atau terlalu banyak dapat mempengaruhi persentase penyisihan TPH. Jika penambahan kompos terlalu sedikit maka mikroorganisme tidak dapat tumbuh dengan baik sehingga tidak dapat menurunkan konsentrasi TPH secara optimal. Namun jika penambahan kompos terlalu banyak dapat menyebabkan mikroorganisme jenuh untuk mengonsumsi substrat yang dapat menyebabkan berkurangnya kemampuan mendegradasi pencemar.

Tabel 1. Hubungan Penambahan Kompos Terhadap Persentase Penyisihan TPH

Penambahan Mikroorganisme	Persentase Penyisihan TPH pada Penambahan Kompos (%)			
	15	20	25	30
8%	59,23	60,13	62,81	60,43
10%	63,55	64,21	67,17	66,38
12%	72,32	75,71	78,72	75,31
14%	79,06	83,24	84,08	79,87

Pengaruh Penambahan Mikroorganisme Pada Proses Degradasi TPH

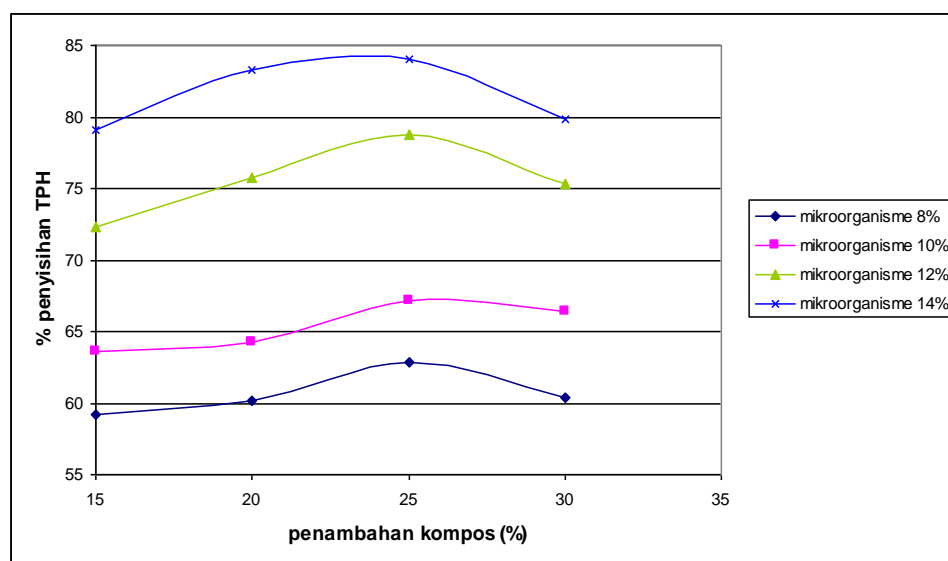
Grafik pada Gambar 5 menunjukkan pengaruh penambahan mikroorganisme pada proses bioremediasi. Pada Gambar 5a, 5b, 5c, dan 5d menunjukkan adanya penurunan konsentrasi TPH pada masing-masing reaktor dengan penambahan mikroorganisme. Mikroorganisme pada reaktor mampu bekerja secara optimal dengan tersedianya nutrisi (kompos), penambahan mikroorganisme diawali dengan 8% (Gambar 5a). Namun penambahan ini belum dapat menunjukkan kemampuan optimal dari mikroorganisme dalam menurunkan konsentrasi TPH. Penurunan konsentrasi TPH dengan penambahan mikroorganisme 8% antara 0,2-0,3 g/kg tiap harinya. Hal ini disebabkan karena masih sedikitnya populasi mikroorganisme yang ada pada reaktor sehingga kemampuan menurunkan konsentrasi TPH masih kecil. Pada penambahan mikroorganisme 10% (Gambar 5b) dan 12% (Gambar

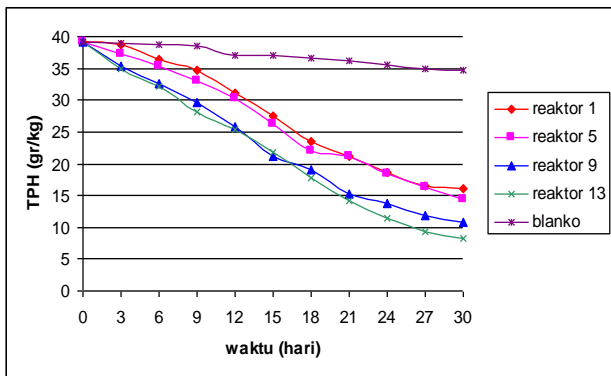
5c) menunjukkan kemampuan mikroorganisme mulai meningkat. Penurunan konsentrasi TPH dengan penambahan mikroorganisme 10 dan 12% antara 0,3-0,5 g/kg tiap harinya. Hal lain terlihat pada penambahan mikroorganisme 14% (Gambar 5d), pada reaktor 12 dan reaktor 16 mulai hari ke 18 trend grafik digambarkan dengan garis mendatar. Hal ini menunjukkan bahwa mikroorganisme mulai jenuh untuk mendegradasi TPH meskipun kondisi reaktor telah dijaga. Penurunan konsentrasi TPH mulai hari ke 18 hanya sebesar 0,1 g/kg tiap harinya.

Ditinjau dari persentase penyisihan, masing-masing memiliki persentase penyisihan yang berbeda-beda sesuai dengan penambahan mikroorganisme. Hubungan antara penambahan mikroorganisme terhadap persentase penyisihan TPH dapat dilihat pada Tabel 2 dan Gambar 6.

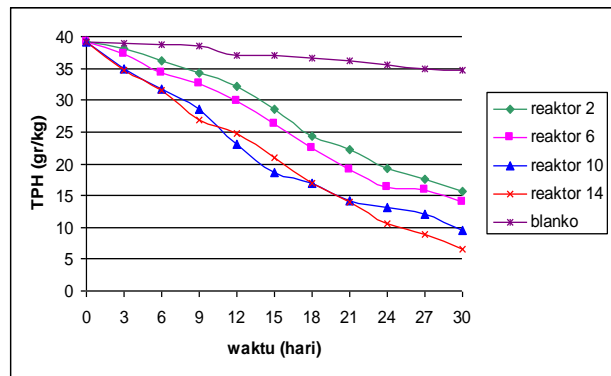
Tabel 2. Hubungan Penambahan Mikroorganisme Terhadap Persentase Penyisihan TPH

Penambahan Kompos	Persentase Penyisihan TPH pada Penambahan Mikroorganisme (%)			
	8%	10%	12%	14%
15%	59,23	63,55	73,32	79,06
20%	60,13	64,21	75,71	83,24
25%	62,81	67,17	78,72	84,08
30%	60,43	66,38	75,31	79,87

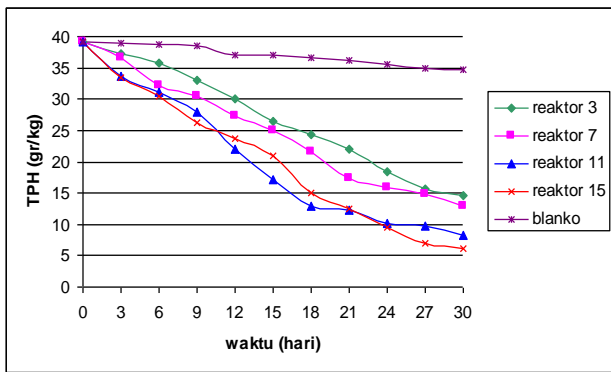
**Gambar 4.** Grafik Hubungan Penambahan Kompos Terhadap Persentase Penyisihan TPH



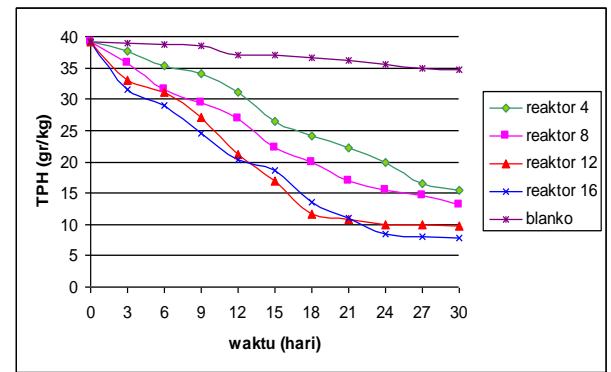
(a) Penambahan Mikroorganisme 8%



(b) Penambahan Mikroorganisme 10%



(c) Penambahan Mikroorganisme 12%

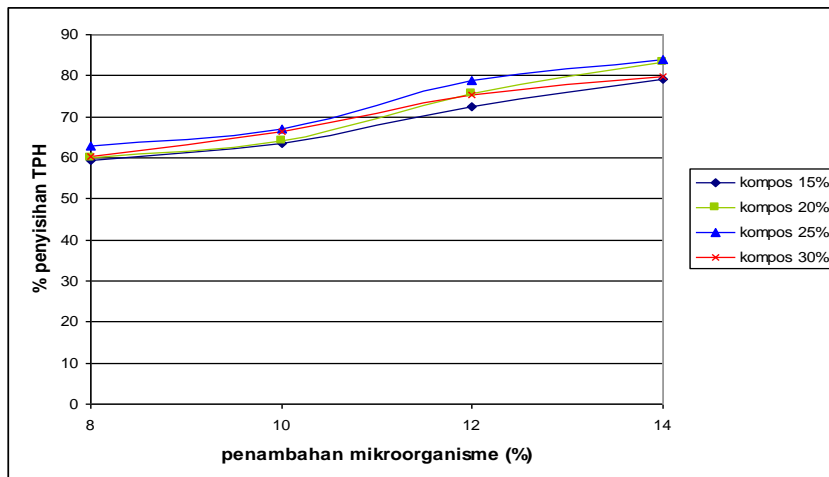


(d) Penambahan Mikroorganisme 14%

Gambar 5. Pengaruh Penambahan Mikroorganisme Terhadap Penyisihan TPH

Pada Tabel 2 dan Gambar 6 menunjukkan kenaikan persentase penyisihan pada setiap penambahan mikroorganisme mulai 8% sampai 12% dan terus menunjukkan adanya peningkatan persentase penyisihan TPH hingga pada penambahan mikroorganisme 14%. Fenome-

na tersebut menunjukkan bahwa semakin banyak jumlah mikroorganisme yang diberikan dengan perlakuan kondisi lingkungan yang sama maka semakin besar penyisihan TPH karena populasi mikroorganisme yang mampu mendegradasi TPH lebih banyak.



Gambar 6. Grafik Hubungan Penambahan Mikroorganisme Terhadap Persentase Penyisihan TPH

Ditinjau dari waktu proses, penambahan mikroorganisme dapat mempersingkat lama waktu proses. Hal ini ditunjukkan pada Gambar 5c dimana pada hari ke 27 penurunan konsentrasi TPH sudah mulai berkurang. Bahkan pada Gambar 5d, reaktor 12 hari ke 18 terlihat hampir tidak terjadi penurunan konsentrasi TPH. Selain penambahan mikroorganisme, penambahan kompos juga dapat mempersingkat waktu proses. Seperti pada Gambar 3c, pada reaktor 12 penurunan konsentrasi TPH juga berkurang pada hari ke 18.

Mikroorganisme yang Teridentifikasi

Terdapat beberapa mikroorganisme yang mampu bertahan selama proses bioremediasi. Ada 3 tipe morfologi mikroorganisme yang mampu bertahan sampai berakhirnya proses bioremediasi, yaitu famili *Spirillaceae*, *Bacillaceae*, dan *Micrococcaceae*.

Bakteri dari family *Spirillaceae* masih dapat dijumpai pada tanah sampai akhir proses. Namun secara kuantitas bakteri ini tidak banyak perubahan seperti pada saat aklimatisasi. Bakteri ini masih dapat hidup karena selama proses bioremediasi dilakukan penyiraman secara berkala. Bakteri ini banyak ditemukan di lingkungan akuatik dan hidup secara aerob. Bakteri ini berkembang biak dengan baik pada suhu optimum 30°C dan pH 5,5-8,5, sesuai dengan kondisi reaktor yang pada umumnya memiliki suhu 26-30°C serta range pH 6,61-6,94. Bakteri ini termasuk genus I dalam famili *Spirillaceae*.

Bakteri dari family *Bacillaceae* juga ditemukan sampai akhir proses bioremediasi. Bakteri ini banyak ditemukan pada lingkungan tanah, hidup secara aerob, serta dapat tumbuh secara optimal pada suhu 20-37°C dan pada pH 5,5-8,5. Kondisi ini sesuai dengan kondisi reaktor yang pada umumnya memiliki suhu 26-30°C serta range pH 6,61-6,94. Bakteri ini termasuk genus I dalam family *Bacillaceae*.

Bakteri dari famili *Micrococcaceae* juga ditemukan pada akhir proses. Secara kuantitas

bakteri ini lebih banyak dibanding pada saat aklimatisasi. Hal ini menunjukkan bahwa bakteri *Micrococcus* merupakan bakteri yang mampu mendegradasi TPH selama proses berlangsung. Bakteri ini banyak ditemukan di tanah serta hidup secara aerob. Bakteri ini dapat tumbuh optimum pada suhu 25-35°C dan pada pH 5,5-8,5. Kondisi ini sesuai dengan kondisi reaktor yang memiliki suhu 26-30°C serta range pH 6,61-6,94. Bakteri ini merupakan genus I dalam famili II *Micrococcaceae*.

4. KESIMPULAN

Pada proses bioremediasi, penambahan mikroorganisme terbaik sebanyak 14% dan penambahan kompos sebesar 25%. Hal ini terjadi pada reaktor 11 yang memiliki persentase penyisihan TPH optimal sebesar 84,08%. Dengan adanya penambahan mikroorganisme dan penambahan kompos juga dapat mempersingkat waktu proses.

Degradasi TPH pada proses bioremediasi dengan sistem biopile terjadi pada suhu 28-30°C, pH 6,61-6,94 serta kelembaban 48,83-76,58%. Dari uji korelasi-determinasi didapatkan pengaruh terbesar pada degradasi TPH pada kelembaban 59%. Penambahan mikroorganisme dapat mempengaruhi laju penyisihan TPH. Laju penyisihan terbaik terdapat pada reaktor 15 dengan penambahan kompos 25% dan mikroorganisme 14%.

Mikroorganisme yang mampu bertahan sampai akhir proses bioremediasi selama 30 hari adalah famili *Micrococcaceae* (bentuk mikrokokkus), *Spirillaceae* (bentuk spirillum), dan *Bacillaceae* (bentuk bacillus).

DAFTAR PUSTAKA

- Adisoemarto, S. (1994). Dasar-Dasar Ilmu Tanah. Penerbit Erlangga, Jakarta.
- Anonim (2007). Minyak Tanah. <http://wikipedia.org/>.

- Baker, K.H. dan Herson, D.S. (1994). Bioremediation. McGraw-Hill Inc., New York.
- Cookson, J.T. (1995). Bioremediation Engineering Design and Application. McGraw-Hill Inc., New York.
- Eweis, J.B., Ergas, S.J., Chang, D.P.Y., dan Schroeder, E.D. (1998). Bioremediation Principles. McGraw-Hill Inc., New York.
- Kiikkilä, O., Perkiömäki, J., Barnette, M., Derome, J., Pennanen, T., Tulisalo, E., dan Fritze, H. (2001). In Situ Bioremediation Through Mulching of Soil Polluted by a Copper-Nickel Smelter. *Journal of Environmental Quality*. 30. 1134-1143.
- Masyuroh, Y. (2004). Skripsi: Bioremediasi Tanah Terkontaminasi Hidrokarbon. Jurusan Teknik Lingkungan-FTSP, UPN "Veteran" Jatim, Surabaya.
- McMillen, S.J. (1998). Bioremediation Potential of Crude Oil Spill on Soil. Bettle Evess, Ohio.
- Millioli, V.S., Servulo, E.L.C., Sobral, L.G.S., De Carvalho, D.D. (2009). Bioremediation of Crude Oil-Bearing Soil: Evaluating The Effect of Rhamnolipid Addition to Soil Toxicity and to Crude Oil Biodegradation Efficiency. *Global NEST Journal*. 11(2). 181-186.
- Owsianiak, M., Chrzanowski, L., Szulc, A., Staniewski, J., Olszanowski, A., Olejnik-Schmidt, A.K., dan Heipieper, H. (2009). Biodegradation of Diesel/Biodiesel Blends by a Consortium of Hydrocarbon Degraders: Effect of The Type of Blend and The Addition of Biosurfactants. *Bioresource Technology*. 100(3). 1497-1500.
- Pelczar, M.J., Chan, E.C.S., dan Kreig, N.R. (1993). Microbiology. McGraw-Hill Inc., New York.
- Rini, S.P. (2007). Pengaruh Pencampuran Lindi dan Aktivator Green Phosko Terhadap Proses Pematangan Kompos. Skripsi. Jurusan Teknik Lingkungan-FTSP, UPN Veteran, Surabaya.
- Sutedjo, M. (1992). Mikrobiologi Tanah. PT. Melton Putra, Jakarta.
- Vieira, P.A., Faria, S., Vieira, R.B., De França, F.P., dan Cardoso, V.L. (2009). Statistical Analysis and Optimization of Nitrogen, Phosphorus, and Inoculum Concentrations for The Biodegradation of Petroleum Hydrocarbons by Response Surface Methodology. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*. 25(3). 427-438.