

BIOREMEDIASI TANAH TERKONTAMINASI HIDROKARBON MINYAK BUMI TOTALFINAELF DENGAN MENGGUNAKAN TEKNIK BIOPILE PADA SKALA LABORATORIUM

Sandra Madonna¹⁾, Agus Jatnika Effendi¹⁾, dan M. Mulyono²⁾

¹⁾Program Pascasarjana Teknik Lingkungan, Institut Teknologi Bandung, Bandung

²⁾PPTMGB LEMIGAS, Jakarta.

Abstract

Bioremediation has become an important method for restoration of oil polluted environment by use of indigenous or exogenous microbial. Several factors such as aeration, use of bulking agents and the type of microbial species play a major role in the remediation of oil-contaminated sites. Laboratory study was carried out on the bioremediation of soil contaminated with petroleum hydrocarbon at Terminal Senipah TotalFinaElf site, East Kalimantan. The major objective of this research was to find the appropriate environment conditions for enhancing petroleum hydrocarbon degradation. The effect of bulking agents and inoculation of extraneous microbial on bioremediation process were studied during 70 days in laboratory experiment. Polluted soil was treated with static ventilated biopile. Biopile was performance in laboratory scale (22 x 31 cm) using rice hulls, sawdust and grass as a bulking agents, NPK as inorganic nutrient, and a bacterial consortium (indigenous or extraneous microbial). TPH concentrations were determined by gravimetry and gas chromatography. Between 33, 27 % to 69, 4 % of initial TPH were removed through biological process in. Decreasing of Total Petroleum Hydrocarbons (TPH) was the greatest at treatment of contaminated soil using rice hulls as the bulking agents and indigenous bacterial consortium, that up to 69,4 % of hydrocarbon contaminants were degraded during 70 days (from 38302 to 11720 mg HC (kg dry w)⁻¹. Addition of the extraneous bacterial consortium insignificant enhanced the removal oil from soil.

Keywords: Bioremediation, bulking agents, microbial consorsia, oil-contaminated soil.

PENDAHULUAN

Pencemaran lingkungan oleh industri minyak dan gas bumi (migas) karena kegiatan produksi migas seperti eksplorasi, eksploitasi dan pengolahan hingga pengangkutan minyak bumi dan produk-produknya tidak bisa dibiarkan berlarut-larut. Limbah migas perlu dikelola dengan baik untuk menghindari terjadinya degradasi kualitas lingkungan dan sumber daya alam. Penggunaan teknologi seperti *landfill* dan insenerasi untuk

pembersihan lahan dari ceceran minyak bumi memerlukan biaya yang sangat besar, memerlukan energi yang tinggi dan menghasilkan produk samping yang tidak diinginkan seperti dioksin. Solusi alternatif untuk mengatasi pencemaran lahan oleh limbah minyak bumi adalah bioremediasi, karena bioremediasi merupakan teknologi ramah lingkungan yang cukup efektif, efisien dan ekonomis (Vasudevan, N. et al., 2001).

Bioremediasi adalah suatu proses biologis untuk mendegradasi atau mengurangi konsentrasi limbah berbahaya dari tempat-tempat yang tercemar dengan memanfaatkan kemampuan mikroorganisme dalam merombak senyawa organik seperti senyawa hidrokarbon, yang digunakannya sebagai sumber karbon untuk pertumbuhannya (Eweis et al., 1998).

Menurut Cookson (1995), bahwa kecepatan bioremediasi tergantung pada densitas populasi mikroba dan aktivitasnya dalam mendegradasi kontaminan. Pemilihan metoda untuk bioremediasi sangat tergantung pada beberapa aspek yaitu karakteristik dan jumlah limbah, kondisi hidrogeologi, ketersediaan zat makanan, mikroba pendegradasi, serta kondisi lingkungan. Salah satu teknik bioremediasi adalah biopile. Biopile merupakan suatu gundukan material yang dilakukan pengolahan secara biologi terhadapnya dengan penambahan nutrisi dan udara kedalam gundukan tersebut. Biopile dapat dalam keadaan statik dengan menghubungkan pipa-pipa untuk aerasi ke dalam pile, atau dapat juga dengan cara membalik-balik tanah dengan peralatan khusus untuk tujuan pemberian aerasi. Biopile dapat dikembangkan dengan penambahan *bulking agent*. *Bulking agent* adalah bahan-bahan dengan densitas rendah yang dapat menurunkan densitas tanah, meningkatkan porositas tanah dan difusi oksigen ke dalam tanah sehingga dapat meningkatkan aktifitas mikroba tanah (C.Jorgensen, K.S., 2000). Selain itu menurut Vasudevan, N. et al. (2001), *bulking agent* dapat memperkaya ketersediaan bahan organik di tanah yang dapat digunakan sebagai material organik tambahan selama proses bioremediasi. Menurut Cookson (1995), *bulking agent* dapat berupa potongan rumput, serbuk gergaji atau batang padi.

C Jorgensen, K.S. (2000), melaporkan bahwa bioremediasi beberapa kontaminan

organik telah berhasil dilakukan menggunakan teknik biopile. Teknologi ini telah diterapkan dalam skala pilot khususnya untuk hidrokarbon minyak bumi oleh Samson et al., 1994; Pustine et al., 1995; Filauro et al. 1998 dan Koning et al., 1998.

Berdasarkan uraian diatas telah dilakukan penelitian Bioremediasi skala laboratorium dengan menggunakan teknik biopile, penggunaan konsorsium bakteri indigenous dan eksogenous, penggunaan beberapa jenis *bulking agent*, pupuk anorganik sebagai nutrisi tambahan, dengan tujuan untuk mengetahui efektifitas dari proses bioremediasi pada lahan yang dicemari oleh minyak bumi di Terminal Senipah TotalFinaElf Kalimantan Timur berdasarkan konsentrasi penurunan hidrokarbon secara kualitatif dan kuantitatif, untuk mengetahui pengaruh jenis *bulking agent*, konsorsium bakteri eksogenous dalam proses bioremediasi, dan untuk mengetahui kondisi optimum bagi proses bioremediasi tanah terkontaminasi minyak bumi TotalFinaElf.

METODE PENELITIAN

Bahan dan Alat

Bahan yang digunakan adalah; *crude oil*, tanah tercemar minyak bumi dari Terminal Senipah TotalFinaElf Kalimantan Timur, isolat konsorsium bakteri indigenous dan konsorsium bakteri eksogenous koleksi Laboratorium Bioteknologi Lingkungan Pusat Penelitian Antar Universitas ITB, air suling, alkohol 70 %, medium Nutrient Agar dan medium *Stone Mineral Salt Solution* (SMSS) Pupuk NPK produksi Norsk Hydro A.S. Norwegia, serbuk gergaji, sekam, rumput. HCl pekat, n-Hexane, silica gel, kertas thimbles, MgSO₄.H₂O (anhydrous) dan kertas saring. Sedangkan alat yang digunakan adalah; peralatan sampling *steel corer*, *cooler box*, *sieve shaker*, lemari pendingin, reaktor, pompa, *flow meter*, desikator, alat ekstraksi soxhlet, bak pemanas, *hot plate*, autoklaf, inkubator, *shaker*,

timbangan, gas kromatografi, mikropipet, pH meter, peralatan gelas seperti cawan petri, erlemeyer, tabung reaksi, pipet takar dan gelas ukur.

Perlakuan Awal Terhadap Sampel Tanah

Sebelum digunakan sampel tanah terlebih dahulu disaring menggunakan alat *sieve shaker size 4 ASTM Standart Test Sieve* (opening 4.75 mm) untuk memisahkannya dari makrofauna, batu-batuan dan material padat lainnya yang dapat menimbulkan masalah teknis pada saat proses pencampuran. Kemudian diukur pH, kelembaban, suhu, jumlah populasi bakteri, total nitrogen dan Total Petroleum Hydrocarbon (TPH) awal ditanah. Karena pH awal tanah terlalu asam yaitu berkisar 5, maka dilakukan penambahan kapur CaCO_3 1% (b/v) untuk meningkatkan pH tanah mendekati pH netral. Selain itu dilakukan penambahan pupuk NPK dengan rasio C: N yaitu 100:10 di tanah.

Pembuatan Medium Nutrient Agar (NA)

Medium Nutrient Agar (NA) digunakan untuk perhitungan populasi bakteri. Medium NA dengan komposisi 3 gr beef ekstrak, 5 gr peptone, 15 gr agar dilarutkan dalam 1 liter air suling lalu masak, kemudian disterilkan dalam autoklaf pada suhu 121°C tekanan 15 lbs selama 15 menit.

Pembuatan Medium Stone Mineral Salt Solution (SMSS)

Medium *Stone Mineral Salt Solution* (SMSS) digunakan untuk pembuatan inokulum, dengan komposisi 0.5gr CaCO_3 , 2.5gr NH_4NO_3 , 1 gr $\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, 0.5gr KH_2PO_4 , 0.5gr $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, 0.6gr $\text{MnCl}_2 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, dan 10 ml *crude oil* dilarutkan dalam 1 liter air suling, kemudian dihomogenkan dan disterilkan dalam autoklaf pada suhu 121°C tekanan 15 lbs selama 15 menit.

Adaptasi dan Aktivasi Bakteri dan Penyediaan Inokulum Bakteri

Untuk mengurangi lamanya fase lag (fase adaptasi) pada pola pertumbuhan bakteri, isolat bakteri indigenous dan eksogenous diaktivasi dan diadaptasikan terlebih dahulu pada medium pertumbuhan SMSS dan selanjutnya digunakan sebagai inokulum untuk proses selanjutnya. Inokulum bakteri diinkubasikan dalam shaker dengan kecepatan 180 rpm selama 24 jam pada suhu kamar.

Proses Bioremediasi

Proses Bioremediasi dilakukan menggunakan teknik biopile. Oksigen disalurkan ke dalam tanah dengan bantuan pompa vakum melalui pipa-pipa yang dilubangi. Kecepatan oksigen yang masuk ke dalam tanah adalah 40 L/menit. Reaktor yang digunakan adalah model simulasi sederhana yang dibuat untuk menggambarkan teknik bioremediasi menggunakan teknik biopile di lapangan. Reaktor dibuat dari wadah plastik sebanyak 5 buah (sesuai dengan variasi perlakuan) dengan ukuran 22 x 31 cm yang pada dasarnya diletakkan pipa-pipa yang dilubangi dan dihubungkan dengan pompa vakum. Masing-masing reaktor diisi dengan 4 Kg tanah tercemar, pupuk NPK dengan rasio C : N yaitu 100:10, 10 % b/b *bulking agent* dengan jenis sesuai perlakuan dan 10% konsorsium bakteri sebagai inokulum.

Proses Bioremediasi dilakukan dua tahap perlakuan dengan menggunakan kombinasi perlakuan sebagai berikut:

a. Tahap I: Penggunaan mikroba indigenous, penambahan pupuk NPK dan penambahan jenis *Bulking agent* yang berbeda pada media. Jenis *Bulking agent* yang digunakan yaitu: Serbuk gergaji (Perlakuan A), Rumput Kering (Perlakuan B) dan Sekam (Perlakuan C).

Sebagai kontrol (K) dibuat 1 buah reaktor yang berisi; tanah tanpa penambahan *bulking agent* dan pupuk NPK.

b. Tahap II: Penggunaan mikroba indigenous dan eksogenous, penambahan pupuk

NPK dan penambahan *Bulking agent* yang terpilih dari hasil penyisihan hidrokarbon terbesar pada Tahap I.

Parameter uji pada penelitian ini diantaranya pengukuran Total Petroleum Hidrokarbon (TPH) secara gravimetri dan menggunakan teknik gas kromatografi, dan perhitungan populasi mikroba. Analisa dilakukan setiap 14 hari sekali selama proses bioremediasi. Reaktor yang digunakan dirancang seperti yang terdapat pada Gambar 1.

Pengambilan Sampel

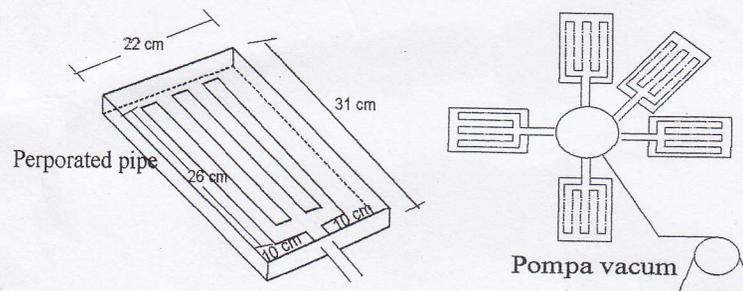
Pengambilan sampel pada setiap reaktor untuk dianalisis lebih lanjut, dilakukan secara acak, dengan skema sampling seperti pada Gambar 2.

Pengambilan sampel dilakukan pada setiap titik sampel diatas (A, B, C D dan E) dengan menggunakan sendok. Sampel diambil pertama kali di permukaan tanah kemudian dari bawah permukaan tanah di setiap titik sampling, dimana setiap telah melakukan

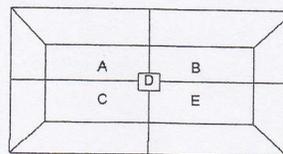
sampling sendok dicuci dengan alkohol 70% dan air suling untuk mencegah terjadinya kontaminan pada sampel. Dan setelah selesai pengambilan sampel, masing-masing sampel tadi dicampur untuk mendapatkan sampel yang representatif (sampel dari 5 titik x 2 sampel dari kedalaman masing-masing grid (10 rata-rata sampel)).

Perhitungan Populasi

Perhitungan Total Bakteri dilakukan dengan menggunakan metoda cawan hitung / *Total Plate Count* (TPC) dengan cara menanamkan bakteri dengan teknik *spread plate* pada medium Nutrient Agar (NA) padat yang bagian atasnya dilapisi dengan *crude oil*, dimana sebelumnya telah dilakukan serangkaian pengenceran terhadap 1 gr sampel tanah yang akan dianalisis. Analisis dilakukan secara duplo, perhitungan populasi dilakukan setelah 72 jam masa inkubasi pada suhu kamar.



Gambar 1. Desain Teknis Reaktor



Gambar 2. Skema Pengambilan Sampel

Pengukuran Total Petroleum Hidrokarbon (TPH)

Untuk mengetahui penurunan TPH secara kuantitatif dilakukan analisa TPH secara gravimetri dengan metoda *Soxhlet Extraction Method* (Standard Methods, metode 5520 F). Dimana ± 20 gr sampel tanah ditambahkan 0,5 mL HCl pekat dan 25 gr $MgSO_4 \cdot H_2O$ (anhydrous) diaduk sampai rata dan dibiarkan selama 15–30 menit, kemudian digerus dalam mortal sampai halus lalu dibungkus dalam kertas thimbles dan dimasukkan ke dalam labu pada alat ekstraksi. Tanah diekstraksi menggunakan pelarut n-hexan selama 4 jam (20 putaran/jam). Kemudian labu yang berisi minyak dan pelarut ditambahkan 3 gr silika gel, dikocok selama 5 menit kemudian, campuran ekstrak dan pelarut didestilasi untuk memisahkan pelarutnya. Kemudian ekstrak yang ada ditimbang. Penentuan TPH yang terdapat pada sampel menggunakan rumus (1) dan penentuan efisiensi bioremediasi menggunakan rumus (2).

Selain itu juga dilakukan pengukuran Total Petroleum Hidrokarbon (TPH) secara kualitatif menggunakan alat Gas Kromatografi /Spektrofotometri Massa (GC/MS) dengan prinsip metoda ekstraksi dan kromatografi. Instrumen Gas Kromatografi/Spektrofotometri Massa yang digunakan dengan merk Shimadzu GC MS.QP 5050A dengan nitrogen sebagai gas pembawa.

Pengukuran Total Nitrogen

Kandungan nitrogen total dalam media diukur dengan menggunakan metoda Kjeldahl Standart Method 4500-Norg B. Prinsip dari metoda ini adalah mengukur kadar nitrogen

organik dan NH_3 . Reaksi yang terjadi adalah oksidasi zat organik dimana nitrogen organik diubah menjadi ammonium. Setelah penambahan basa, ammonium didestilasi dan NH_3 ditangkap oleh larutan asam borat. Amonia kemudian diukur dengan cara kalorimetri atau titrasi dengan asam.

Pengukuran pH

pH medium diukur menggunakan pH meter, dengan cara melarutkan 1 gr tanah kering yang telah dihaluskan dalam 5 mL air deionisasi lalu dihomogenkan dan kemudian diukur pHnya menggunakan pH meter. Angka yang tertera pada pH meter menunjukkan nilai pH medium tanah.

Kelembaban Tanah dan Suhu

Kelembaban tanah dianalisis secara gravimetri yang pada prinsipnya mendapatkan berat tanah yang konstan dengan cara mengeringkan tanah di dalam oven pada suhu $105^\circ C$ sampai mencapai berat yang konstan. Kandungan air yang ada adalah selisih berat tanah basah dengan berat tanah kering per berat tanah basah. Suhu tanah diukur menggunakan thermometer tanah dilakukan pada 5 lokasi secara acak dan hasilnya dilaporkan sebagai suhu rata-rata dan suhu kamar diukur menggunakan thermometer.

Analisa Data

Analisa data dilakukan terhadap Penyisihan Total Petroleum Hidrokarbon (TPH) pada masing-masing perlakuan uji secara statistik menggunakan perangkat lunak SPSS versi 10.

$$\text{Total Petroleum Hidrokarbon (TPH)} = \frac{\text{Berat ekstrak (mg)}}{\text{Berat sampel (Kg)}} \quad (1)$$

$$\text{Efisiensi} = \frac{\text{berat minyak awal} - \text{berat minyak waktu tertentu}}{\text{Berat minyak awal}} \times 100 \% \quad (2)$$

HASIL DAN PEMBAHASAN

Kondisi Awal Sampel Tanah Sebelum Proses Bioremediasi

Nilai awal *Total Petroleum Hydrocarbon* (TPH), jumlah populasi bakteri, pH, kelembaban, suhu tanah dan nitrogen total pada masing-masing perlakuan tertera pada Tabel 1 berikut:

Dari Tabel 1 dapat diketahui bahwa Total Petroleum Hydrocarbon (TPH) sebelum proses bioremediasi di tanah berkisar antara 38490 mg/kg sampai 25244 mg/kg. pH tanah sebelum perlakuan berkisar antara 5.0 sampai 5.9 yang cenderung bersifat asam, oleh karena itu pH media pada awal perlakuan diatur mendekati pH normal dengan penambahan 1 % (b/v) kalsium karbonat pada media uji, karena pH tanah sangat berpengaruh terhadap aktivitas mikroba. Sebagian besar mikroorganisme tumbuh baik pada kisaran pH antara 6 sampai 8. Suhu tanah pada setiap perlakuan bersuhu sama yaitu 23 °C. Suhu tanah tersebut masih berada dalam rentang dimana proses bioremediasi dapat berlangsung, seperti yang dikemukakan Cookson (1995), bahwa Suhu berpengaruh terhadap laju bioremediasi. Umumnya mikroorganisma berkerja efektif dalam proses bioremediasi pada kisaran suhu antara 10 sampai 40°C. Kelembaban sampel tanah berkisar antara 11 % sampai 12 % dengan kondisi demikian tanah cenderung bersifat kering untuk meningkatkan kelembaban dilakukan penyiraman tanah setiap tiga hari sekali. Kelembaban tanah sangat berpengaruh terhadap aktifitas biologi di tanah. Air adalah komponen utama dalam protoplasma bakteri, keberadaan air dalam jumlah yang memadai sangat penting bagi pertumbuhan dan kelangsungan hidup mikroba. Air berfungsi sebagai media transport bagi nutrient yang masuk kedalam sel. Kandungan air yang sangat rendah di tanah dapat mengakibatkan terbentuknya zona kering sehingga aktifitas mikroba di daerah tersebut berkurang, sebaliknya terlalu banyak kandungan air tanah dapat menghambat pertukaran gas dan menghambat masuknya oksigen kedalam tanah

sehingga dapat menyebabkan terbentuknya zona anerobik pada tanah tersebut yang berakibat berkurangnya jumlah bakteri aerobik dan peningkatan jumlah bakteri anaerob atau anaerob fakultatif yang hidup pada tanah tersebut (Eweis *et al*, 1998). Sedangkan untuk total nitrogen pada masing-masing perlakuan berkisar antara 0.0288 (% b/b) sampai 0.0477 (% b/b). Limbah *crude oil* atau minyak mentah di dalam tanah dapat menyebabkan ketidak seimbangan rasio C : N dalam tanah terkontaminasi, agar mendapatkan pertumbuhan mikroba yang efisien dalam mengkomsumsi hidrokarbon rasio C : N sebaiknya berkisar antara 60-100 : 10 (Dibble dan Bartha, 1979; Jobson *et al*, 1972 *cit* Raghavan *et al*. 1999). Pada penelitian ini dilakukan penambahan pupuk NPK ke dalam media tanah sebagai nutrient tambahan bagi bakteri dengan rasio C:N yang digunakan yaitu 100:10 di dalam media.

Proses Bioremediasi

Proses Bioremediasi pada penelitian terdiri dari dua tahap yaitu:

- A. Tahap pertama tujuannya untuk mencari jenis *bulking agent* yang terbaik di dalam media yang memberikan kondisi terbaik bagi mikroba indigenous dalam penyisihan hidrokarbon.
- B. Tahap kedua dilakukan penambahan perlakuan uji yaitu penambahan mikroba eksogenous ke dalam media media dengan jenis *bulking agent* terpilih pada tahap pertama. Tujuannya yaitu untuk mengetahui interaksi mikroba indigenous dan eksogenous dalam mendegradasi polutan dan untuk mengetahui keefektifan proses bioremediasi.

Seleksi *Bulking agent*

Berdasarkan hasil penelitian tahap pertama diketahui bahwa dari ketiga jenis *bulking agent* yang digunakan yaitu: sekam, serbuk gergaji dan rumput. Media dengan penambahan *bulking agent* sekam mempunyai kemampuan tertinggi dalam penyisihan polutan hidrokarbon. Kemampuan penyisih-

an hidrokarbon tertinggi ditentukan dari nilai konstanta penyisihan polutan hidrokarbon pada akhir penelitian tahap pertama yaitu pada hari ke 28 proses bioremediasi, kondisi medium dengan penambahan *bulking agent* jenis sekam dapat meningkatkan laju degradasi bakteri indigenous, hal ini ditunjukkan dengan konstanta penyisihan polutan hidrokarbon yang terbesar yaitu 0.03523 ppm/hari.

Hasil analisis data penyisihan polutan minyak bumi dengan menggunakan program SPSS versi 10.0 didapatkan bahwa data penyisihan polutan hidrokarbon pada media yang mengandung sekam sebagai *bulking agent* mempunyai koefisien kolerasi (r) sebesar 0.968 yang menunjukkan kolerasi antara dua data peubah (ln penurunan konsentrasi polutan terhadap waktu (hari), nilai 0.968 ini mendekati kolerasi sempurna yaitu 1. Koefisien penentuan (r^2) yang dihasilkan sebesar 0.937 yang berarti 0.937 atau 93,7 % data dari ln penurunan konsentrasi polutan dapat diterangkan oleh data waktu atau sebaliknya. Efisiensi degradasi pada penelitian tahap pertama tertera pada Tabel 2.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa media dengan penambahan sekam sebagai *bulking agent* adalah media yang terbaik yang

dapat meningkatkan aktifitas mikroba indigenous dalam mendegradasi hidrokarbon minyak bumi setelah 28 hari proses bioremediasi hal ini ditunjukkan dengan nilai efisiensi degradasi hidrokarbon tertinggi yaitu 63 % yang diperoleh media tersebut. Untuk tahapan penelitian selanjutnya sekam digunakan sebagai *bulking agent* pada media dan dilakukan penambahan mikroba eksogenous pada media tersebut. Kondisi lingkungan yang mendukung proses bioremediasi pada media dengan penambahan sekam sebagai *bulking agent* pada hari ke 28 proses bioremediasi diantaranya : pH tanah berada pada nilai 6.38, jumlah populasi mikroba indigenous yaitu $55 \cdot 10^7$ (sel/ml), suhu tanah 24°C dan kandungan air tanah 22 % b/b. Kondisi lingkungan tersebut dianggap kondisi optimum bagi media dengan penambahan sekam pada 28 hari proses bioremediasi, dimana pada kondisi tersebut dapat meningkatkan aktifitas bakteri indigenous dalam penyisihan hidrokarbon minyak bumi pada tanah terkontaminasi hidrokarbon minyak bumi tanah yang terkontaminasi mikroba eksogenous.

Tabel 1. Parameter Awal Pada Masing-Masing Perlakuan

Perlakuan	Parameter					
	TPH mg/kg	pH	Jumlah Populasi (sel/ml) $\times 10^6$	Suhu ($^\circ\text{C}$)	Kelembaban (% b/b)	Total Nitrogen (% b/b)
K	38490	5.4	44.5	23	11	0.0288
A	38302	5.3	51.5	23	12	0.0477
B	25244	5.0	215	23	12	0.0331
C	29190	5.9	130.5	23	11	0.0393

Keterangan : K = Kontrol, A = Media dengan penambahan sekam, B = Media dengan penambahan serbuk gergaji, C = Media dengan penambahan rumput.

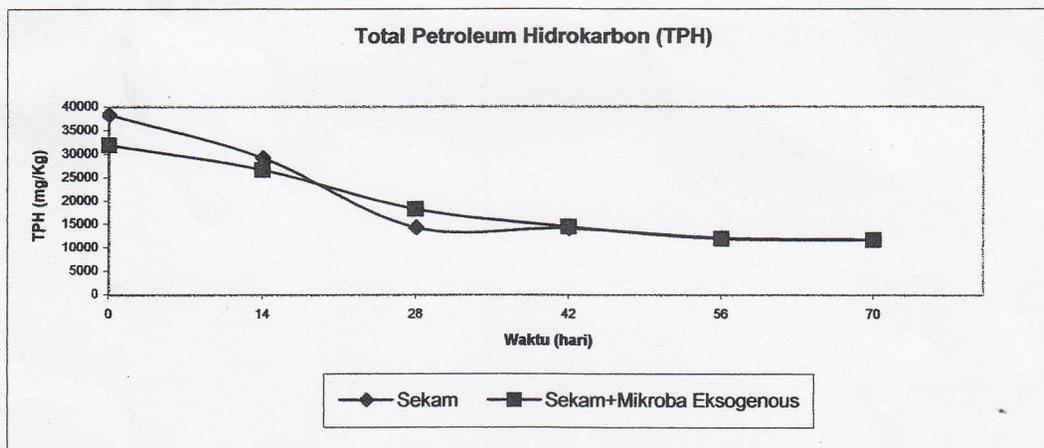
Tabel 2. Nilai Efisiensi Degradasi Hidrokarbon Minyak Bumi Pada Masing- Masing Perlakuan

Perlakuan Penambahan	Konsentrasi TPH awal (mg/kg)	Konsentrasi TPH setelah 28 hari proses Bioremediasi (mg/kg)	Nilai Effisiensi
Sekam	38302	14283	63 %
Serbuk gergaji	25244	21467	15 %
Rumput	29190	19831	32 %

Penambahan Mikroba Eksogenous Dalam Media

agent terpilih pada tahap pertama yaitu pada media yang mengandung sekam sebagai *bulking agent* bertujuan untuk mengetahui interaksi mikroba indigenus dan eksogenous dalam mendegradasi polutan. Hasil penurunan konsentrasi Total Petroleum Hidrokarbon (TPH) di dalam tanah dengan penambahan mikroba eksogenous dan tanpa mikroba eksogenous kedalam media yang mengandung sekam sebagai *bulking agent* dapat dilihat pada Gambar 3. Diketahui bahwa media yang mengandung sekam sebagai *bulking agent* dengan perlakuan dengan penambahan atau tanpa penambahan mikroba eksogenous pada akhir proses bioremediasi menunjukkan hasil yang tidak berbeda nyata dalam kemampuan mikroba pada kedua media tersebut

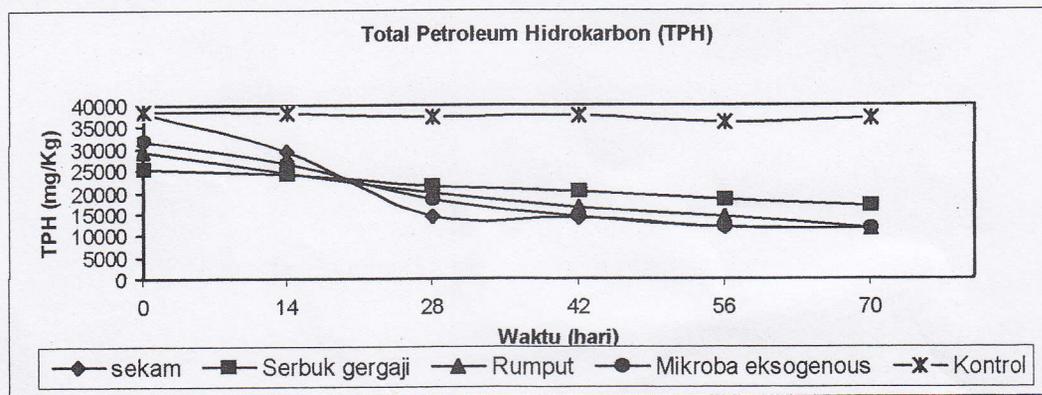
Penambahan mikroba eksogenous ke dalam media dengan jenis *bulking* menyisihkan hidrokarbon. Hal ini bisa dikarenakan pada media yang mengandung bakteri eksogenous terjadi kompetisi diantara bakteri eksogenous dan indigenus di dalam mendapatkan makanan pada media tersebut. Dengan demikian, walaupun jumlah bakteri di dalam media dengan penambahan bakteri eksogenous, lebih banyak daripada di dalam media tanpa bakteri eksogenous, tidak berpengaruh di dalam penyisihan hidrokarbon pada media tersebut. Dari semua perlakuan diketahui bahwa pada akhir proses bioremediasi (70 hari) terjadi penurunan TPH dengan efisiensi yang berbeda pada masing-masing perlakuan seperti yang tertera pada Tabel 3.



Gambar 3. Grafik Penurunan Total Petroleum Hidrokarbon Selama Proses Bioremediasi Pada Media Sekam

Tabel 3. Nilai Effisiensi Degradasi Hidrokarbon Minyak Bumi Pada Masing-Masing Perlakuan Setelah 70 Hari Proses Bioremediasi

Perlakuan	Konsentrasai TPH awal (mg/kg)	Konsentrasai TPH pada akhir proses Bioremediasi (mg/kg)	Nilai Effisiensi
Sekam	38302	11720	69,4 %
Serbuk gergaji	25244	16846	33,27 %
Rumput	29190	11458	60,75 %
Penambahan M.Eksogenous	31859	11627	63,50%



Gambar 4. Grafik Penurunan Total Petroleum Hidrokarbon Selama Proses Bioremediasi Pada Setiap Perlakuan

Secara keseluruhan grafik penurunan TPH pada masing-masing perlakuan tertera pada Gambar 4. Dari Gambar 4 diketahui bahwa penggunaan bakteri indigenous pada proses bioremediasi dapat ditingkatkan dengan pengkondisian media, diantaranya dengan pemberian jenis *bulking agent* yang sesuai guna mengefektifkan kerja mikroorganisme indigenous dalam mendegradasi hidrokarbon minyak bumi. Menurut Jorgensen *et al* (2000) bahwa tanah terkontaminasi biasanya miskin akan materi organik dan mempunyai aktifitas mikroba yang rendah. Penambahan bahan-bahan organik kedalam tanah yang dapat meningkatkan aktifitas mikroba secara umum dan juga aktifitas degradasi khususnya pada tanah terkontaminasi. Parameter lingkungan yang mendukung proses bioremediasi

diantaranya jumlah populasi bakteri. Diketahui bahwa terjadi fluktuasi jumlah populasi selama proses bioremediasi dimana pada tahap awal proses bioremediasi pada umumnya cenderung terjadi peningkatan namun kemudian terjadi penurunan jumlah populasi setelah hari ke 28 proses bioremediasi. Keadaan ini juga ditandai dengan penurunan dalam jumlah populasi setelah hari ke 28 proses bioremediasi berhubungan dengan laju penyisihan hidrokarbon setelah hari 28 yang meningkat tidak begitu tajam. Menurut Vasudevan *et al.* (2001), bahwa Penambahan *bulking agent* cenderung memberikan pengaruh utama dalam populasi mikroba dan penambahan material organik pada tanah yang dapat meningkatkan degradasi minyak bumi.

Setelah hari ke 28 pada umumnya terjadi penurunan jumlah populasi bakteri, penurunan ini bisa dikarenakan terjadinya pengurangan atau defisiensi nutrisi yang ada pada masing-masing media sehingga dapat menghambat pertumbuhan bakteri.

Hasil pengukuran pH media selama 70 hari pengamatan menunjukkan bahwa nilai pH tanah tidak selalu bersifat asam. Hasil penelitian pada pengukuran pH hari ke tujuh, pH tanah pada media dengan rumput sebagai *bulking agent* terjadi peningkatan nilai pH. Secara umum data hasil pengukuran pH terjadi penurunan pH media sekitar 0.3 sampai 1.1 unit dari pH awal. Secara keseluruhan hasil analisa parameter uji pada masing-masing perlakuan dapat dilihat pada Tabel 4.

Data yang tertera pada Tabel 4 merupakan nilai parameter uji yang optimal bagi masing-masing perlakuan dalam mende-gradasi hidrokarbon minyak bumi di tanah, dilihat dari nilai efisiensi tertinggi yang dihasilkan selama 70 hari proses bioremediasi. Dari hasil analisa gas kromatografi secara keseluruhan pada masing-masing perlakuan dapat diketahui bahwa profil kromatogram pada akhir proses bioremediasi (hari ke 70), bila dibandingkan dengan profil kromatogram

pada awal proses bioremediasi, secara keseluruhan diketahui terjadi pergeseran kromatogram ke arah kanan. Selain itu juga terjadi perubahan dalam jumlah puncak yang terdeteksi pada masing-masing range waktu retensi tertentu, dan berkurangnya luas area puncak yang terdeteksi pada masing-masing perlakuan. Hal ini menandakan bahwa pada setiap perlakuan telah terjadi perubahan komposisi hidrokarbon karena diduga telah terjadi degradasi rantai karbon oleh mikroba selama proses bioremediasi. Secara keseluruhan pada awal proses bioremediasi, senyawa-senyawa hidrokarbon karbon senyawa dengan panjang rantai karbon berkisar C_1-C_{10} tidak terdeteksi. Hal ini dikarenakan senyawa-senyawa tersebut mempunyai titik didih yang rendah dan telah mengalami proses penguapan sebelum proses bioremediasi dilakukan. Pada akhir proses bioremediasi pada perlakuan tersebut range panjang rantai karbon berkisar antara $C_{15}-C_{27}$. Masih terdapatnya senyawa-senyawa yang terdeteksi dengan berat molekul tinggi setelah proses bioremediasi. Hal ini menandakan bahwa senyawa dengan rantai karbon panjang tersebut relatif lebih sulit terdegradasi.

Tabel 4. Rekapitulasi Data Hasil Analisa TPH, pH, Total Nirtrogen, Suhu, Total koloni bakteri pada akhir proses bioremediasi

Perlakuan	Parameter					
	TPH mg/kg	pH	Jumlah Populasi (sel/ml)	Suhu ($^{\circ}C$)	Kelembaban (% b/b)	Total Nitrogen (% b/b)
K	37008	6.38	29.10^6	24	16	0.0288
A	11720	6.17	95.10^6	24	20.5	0.0477
B	16846	5.62	$46,5.10^6$	24	16	0.0331
C	11458	6.75	$102,5.10^6$	24	20.5	0.0393
D	11627	5.83	$24,25.10^8$	24	17,5	0.0452

Keterangan : K = Kontrol, A = Media dengan penambahan sekam, B = Media dengan penambahan serbuk gergaji, C = Media dengan penambahan rumput, D = Media dengan penambahan sekam dan mikroba eksogenous.

KESIMPULAN

Kesimpulan yang dapat diambil dari penelitian ini menunjukkan bahwa kemampuan mikroba indigenus dari lokasi tanah yang tercemar minyak bumi TotalFinaElf dalam mendegradasi senyawa hidrokarbon minyak bumi dapat ditingkatkan dengan mengoptimasikan kondisi lingkungan yang mendukung. Untuk proses bioremediasi tanah yang tercemar minyak bumi TotalFinaElf, sekam merupakan jenis *bulking agent* yang terbaik bila dibandingkan kedua jenis *bulking agent* lainnya yaitu serbuk gergaji dan rumput. Penambahan sekam pada media dapat memberikan nilai efisiensi tertinggi pada proses bioremediasi selama 70 hari, yaitu sebesar 69,4 % dengan konsentrasi TPH pada akhir proses bioremediasi sebesar 11720 mg/kg, dengan kondisi lingkungan yang mendukung diantaranya pH media bernilai 6.17, suhu tanah 24 °C, jumlah populasi 95.10^6 sel/ml, dan kandungan air tanah 20,5 % (b/b). Penambahan mikroba eksogenous ke dalam media tidak memberikan pengaruh yang nyata terhadap proses bioremediasi tanah yang tercemar minyak bumi TotalFinaElf. Hal ini dipertegas dengan hasil analisis kromatografi gas yang menunjukkan telah terjadi perubahan komposisi minyak pada masing-masing perlakuan di akhir proses bioremediasi.

J. Environment International, Vol. 26, p. 409-411.

DAFTAR PUSTAKA

- Cookson J. T. Ir. 1995. Bioremediation Engineering, Design and Application. Mc.Graw-Hill.Inc.USA
- Eweis, et al.1998. Bioremediation Principles. Mc.Graw-Hill.Inc.Malaysia
- Jorgensen, K.S., Pustine, J., Suortti,A.M. 2000. Bioremediation of Petroleum Hydrocarbon-Contaminated Soil by Composting in Biopile. *J. Environment Pollution, Vol.107, p. 245-254.*
- Vasudevan, N., Rajaram, P. 2001. Bioremediation of Oil Sludge-Contaminated Soil.