

## **Bioremediasi Lahan Tercemar Limbah Lumpur Minyak Menggunakan Campuran *Bulking Agents* yang Diperkaya Konsorsia Mikroba Berbasis Kompos Iradiasi**

### ***Bioremediation of Oil Sludge Contaminated Soil Using Bulking Agent Mixture Enriched Consortia of Microbial Inoculants Based by Irradiated Compost***

**Tri Retno D.L. dan Nana Mulyana**

Pusat Aplikasi Teknologi Isotop dan Radiasi – BATAN  
Jl. Lebak Bulus Raya No. 49, Jakarta Selatan 12440  
Email : tretno\_batan@yahoo.co.id

Diterima 25 Oktober 2013; Disetujui 18 November 2013

#### **ABSTRAK**

**Bioremediasi Lahan Tercemar Limbah Lumpur Minyak Menggunakan Campuran *Bulking Agents* yang Diperkaya Konsorsia Mikroba Berbasis Kompos Iradiasi.** Campuran *bulking agent* diperkaya konsorsia inokulan mikroba berbasis kompos iradiasi digunakan untuk mendegradasi lahan tercemar hidrokarbon dalam skala mikrokosmos. Pengomposan selama 42 hari dilakukan dengan campuran bahan *bulking agent* (serbuk gergaji, *sludge* sisa biogas dan kompos) sebesar 30%, lumpur minyak bumi (*oil sludge*) sebesar 20% dan 50% tanah. Campuran 80% tanah dan 20% *oil sludge* digunakan sebagai kontrol. Kompos iradiasi digunakan sebagai *carrier* bagi konsorsia inokulan mikroba (F+B) pendegradasi hidrokarbon. Variasi perlakuan meliputi A1, A2, B1, B2, C1, C2, D1 dan D2. Parameter proses yang diamati meliputi : suhu, pH, kadar air, TPC (*Total Plate Count*) dan % degradasi TPH (*Total Petroleum Hydrocarbon*). Kondisi optimal dicapai pada remediasi cemar *oil sludge* 20% menggunakan perlakuan B2 yakni dengan penambahan konsorsia inokulan mikroba berbasis kompos iradiasi dalam 30 % serbuk gergaji (*Bulking agent*) pada konsentrasi tanah 50% dengan efisiensi degradasi TPH optimal sebesar 81,32%. Hasil analisis GC-MS menunjukkan bahwa bioremediasi selama 42 hari menggunakan campuran *bulking agents* serbuk gergaji dan kompos iradiasi yang diperkaya dengan konsorsia mikroba dapat mendegradasi hidrokarbon awal dengan distribusi rantai karbon C-7 sampai C-54 menjadi hidrokarbon dengan distribusi rantai karbon C-6 sampai C-8.

**Kata kunci :** bioremediasi, inokulan mikroba, kompos iradiasi, degradasi, TPH

#### **ABSTRACT**

***Bioremediation of Oil Sludge Contaminated Soil Using Bulking Agent Mixture Enriched Consortia of Microbial Inoculants Based by Irradiated Compost.*** Bulking agent mixture enriched consortia of microbial inoculants based by irradiated compost was used on bioremediation of microcosm scale contaminated by hydrocarbon soil. Bioremediation composting was carried out for 42 days. Composting was done with a mixture of bulking agent (sawdust, residual sludge biogas and compost) by 30%, mud petroleum (oil sludge) by 20% and 50% of soil. Mixture of 80% soil and 20% oil sludge was used as a control. Irradiated compost was used as a carrier for consortia of microbial inoculants (F + B) which biodegradable hydrocarbons. Treatment variations include A1, A2, B1, B2, C1, C2, D1 and D2. Process parameters were observed to determine the optimal conditions include: temperature, pH, water content, TPC (Total Plate Count) and degradation of % TPH (Total Petroleum Hydrocarbon). Optimal conditions were achieved in the remediation of oil sludge contamination of 20% using the B2 treatment with the addition consortia of microbial inoculants based by irradiated compost of sawdust (bulking agent by 30% at concentrations of soil by 50% with TPH degradation optimal efficiency of 81.32%. The result of GC-MS analysis showed that

bioremediation for 42 days by using a sawdust as a mixture of bulking agents which enriched consortia of microbial inoculants based by irradiated compost is biodegradeable, so initial hydrocarbons with the distribution of the carbon chain C-7 to C-54 into final hydrocarbons with the distribution of carbon chain C-6 to C-8.

**Keywords:** bioremediation, microbial inoculants, irradiated compost, degradation, TPH

## PENDAHULUAN

Limbah lumpur minyak bumi (*oil sludge*) merupakan kotoran minyak yang terbentuk dari proses pengumpulan dan pengendapan kontaminan minyak yang tidak dapat digunakan kembali dalam proses produksi. Kandungan terbesar dalam *oil sludge* adalah *petroleum hydrocarbon*, yang dapat diolah dengan proses bioremediasi [16]. Bioremediasi pada pencemaran minyak bumi dapat dilakukan dengan menambahkan mikroba *non-indigenous* yang berpotensi tinggi mendegradasi hidrokarbon (*bioaugmentation*) atau dengan penambahan nutrisi untuk meningkatkan kemampuan mikroba *indigenous* (*biostimulation*) [5]. Proses bioremediasi tersebut dapat dilakukan secara pengomposan [18]. Penambahan kompos tersebut, selain sebagai sumber inokulan juga sumber nutrisi dalam tanah, yang akan mempercepat terjadinya degradasi bahan pencemar hidrokarbon [22]. Selain itu laju biodegradasi dalam proses remediasi tanah tercemar dapat ditingkatkan dengan penambahan *bulking agents*, yakni bahan tambahan yang dipergunakan untuk memperbaiki permeabilitas, *water holding capacity* dan porositas untuk meningkatkan laju biodegradasi dalam proses pemulihan [BPMIGAS]. *Bulking agents* tersebut berfungsi sebagai pengatur porositas, kelembaban, dan sumber nutrisi.

Konsentrat yang berisi kultur mikroba pendegradasi hidrokarbon berbasis kompos iradiasi telah dikembangkan oleh Kelompok Lingkungan, bidang Industri dan Lingkungan, Pusat Aplikasi Teknologi Isotop dan Radiasi, PATIR-BATAN. Sumber mikroorganisme fungsional adalah konsorsium fungi (F) pendegradasi minyak

(*Aspergillus niger* dan *Trichoderma zeatum*) dan sebagai konsorsia mikroba *non-indigenous* (B) adalah *Bacillus sphaericus*, *Bacillus cereus* dan *Pseudomonas aeruginosa* yang telah diisolasi dari Pertambangan minyak Rakyat di Cepu, Jawa Tengah. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh *bulking agents* yang diperkaya konsorsia mikroba berbasis kompos iradiasi pada bioremediasi lahan tercemar limbah minyak bumi dalam mengoptimalkan % laju degradasi TPH (*Total Petroleum Hydrocarbons*).

## BAHAN DAN METODE

### Bahan:

Variasi perlakuan yang digunakan berupa tanah alluvial (50% dan 80%), *Bulking agent* (30%) yakni : serbuk gergaji, *sludge* sisa biogas dan kompos serta *oil sludge* (20%) yang diperoleh dari sumur minyak tradisional Cepu. Pupuk urea, SP-36, dan KCl digunakan sebagai sumber nutrisi nitrogen, fosfor dan kalium. Larutan buffer standar, H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> pekat, NaOH, H<sub>3</sub>BO<sub>3</sub>, HCl 0,01 N, n-heksana, selenium mixture merk 10830, Indikator BCG-MR.

### Metode:

#### Pembuatan Inokulan

Bahan pembawa berupa kompos sebanyak 9 gr dengan ukuran partikel sekitar 200 µm dan kadar air 22,23% dikemas dalam kantong plastik (*polyethylene*) dan ditutup rapat dengan *sealer*. Kemudian disterilkan dengan iradiasi gamma pada dosis 25 kGy [11]. Bahan pembawa steril tersebut digunakan sebagai media pada pembuatan konsorsia inokulan F yang

terdiri dari *Aspergillus niger*, *Pseudomonas aeruginosa* dan *Trichoderma zeatum* sedangkan inokulan B adalah *Bacillus sphaeric* dan *Bacillus cereus* dengan konsentrasi masing-masing sekitar  $10^9$  cfu/g. Konsorsia inokulan mikroba indigen (F) dan eksogen (B) tersebut diinkubasi pada suhu 28°C selama 14 hari, sebelum digunakan sebagai stimulan *Bulking agent* dalam bioremediasi lahan tercemar lumpur minyak bumi.

#### Pengukuran jumlah mikroba dengan metode *Total Plate Count* (TPC)

Pertumbuhan sel mikroorganisme dihitung menggunakan metode *Total Plate Count* (TPC) dengan pengenceran hingga  $10^8$  dan dilakukan pengamatan pada 0, 14, 28 dan 42 hari. Penggunaan metode TPC dilakukan karena jumlah sel yang hidup dapat dihitung, tanpa terganggu oleh adanya sel-sel yang mati, dengan asumsi bahwa setiap sel yang hidup akan tumbuh membentuk suatu koloni [20].

#### Bioremediasi Mikrokosmos secara Pengomposan

Konsentrat yang berisi kultur mikroba pendegradasi hidrokarbon berbasis kompos iradiasi tersebut didilusi/diencerkan sampai  $10^7$  cfu/gr dengan penambahan 10% molasses yang telah dipanaskan, kemudian dilakukan penggoyangan selama  $\pm$  24 jam. Kultur mikroba dalam bentuk cairan tersebut dicampurkan ke dalam tanah,

*Bulking agent* dan *oil sludge* serta diberi penambahan NPK sebanyak 5% dari kandungan *oil sludge* (komposisi variasi perlakuan dilihat pada Tabel 1). Kelembaban tanah dijaga sekitar 60 – 65%. Semua bahan yang telah dicampur homogen dimasukkan ke dalam *Composter* yang telah disiapkan. Kemudian dilakukan aerasi dengan pengadukan untuk memberikan suplai oksigen dalam proses bioremediasi. Pengomposan dilakukan dalam *Composter* selama 42 hari dengan melakukan pengukuran parameter proses : suhu, pH, kadar air, TPC dan TPH.

Tingkat % degradasi TPH diukur dengan rumus berikut (Ijah&Upke,1992 dalam Ijah *et.al*, 2008) :

$$\% \text{ Degradasi} = \frac{TPH_0 - TPH_t}{TPH_0} \times 100 \%$$

Keterangan:

TPH<sub>0</sub> = TPH hari ke-0 (g)

TPH<sub>t</sub> = TPH hari ke-t (g)

#### Analisis Senyawa dengan GC-MS

Penentuan perubahan senyawa hidrokarbon selama proses degradasi menggunakan mikroorganisme dilakukan pada awal dan akhir proses bioremediasi menggunakan GC-MS Shimadzu QP 2010 ULTRA. Analisis GC-MS dilakukan dengan membandingkan % area senyawa hidrokarbon yang memiliki % efisiensi degradasi TPH terbaik.

**Tabel 1.** Variasi Perlakuan Bioremediasi skala Mikrokosmos dengan Pengomposan

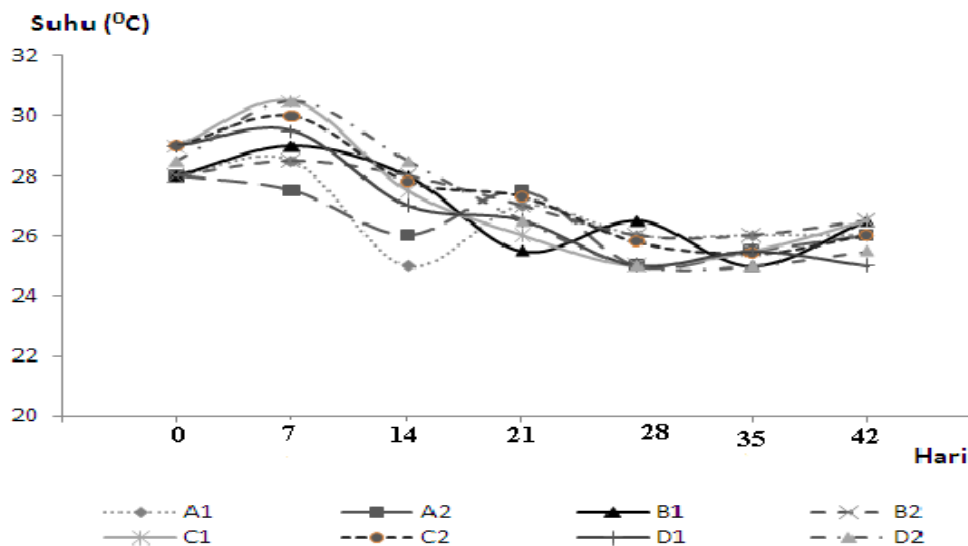
Kode	VARIASI			
	Tanah (%)	<i>Bulking Agent</i> (%)	<i>Oil Sludge</i> (%)	Mikroba
A1	80	-	20	-
A2	80	-	20	F + B
B1	50	30 (Sb.Gergaji)	20	-
B2	50	30 (Sb.Gergaji)	20	F + B
C1	50	30 ( <i>Sludge</i> )	20	-
C2	50	30 ( <i>Sludge</i> )	20	F + B
D1	50	30 (kompos)	20	-
D2	50	30 (kompos)	20	F + B

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Pengaruh suhu pada bioremediasi lahan tercemar lumpur minyak

Suhu tanah memberikan efek pada aktivitas mikroorganisme dan laju biodegradasi kontaminan senyawa hidrokarbon. Pada Gambar 1, pengukuran suhu yang dilakukan setiap minggu terhadap *composter* bioremediasi (B1, B2, C1, C2, D1 dan D2) menunjukkan kisaran 25,5°C - 30,5°C sedangkan *composter* kontrol (A1 dan A2) berkisar pada 25 °C - 28,5 °C. Kisaran tersebut mengindikasikan bahwa bakteri *endogenous* yang ada di dalam kontrol dan bakteri *eksogenous* yang berupa *Bacillus*

*Aspergillus niger* dan *Trichoderma sp.* untuk mendegradasi minyak bumi. Sebagian besar fungi atau jamur bersifat mesofilik, tumbuh pada suhu sedang pada kisaran 10 - 40° C, optimum pada suhu 25° - 35° C [7]. Suhu cenderung rendah disebabkan adanya campuran *Bulking agent* yang dapat menyerap kalor, sehingga meningkatkan porositas campuran tanah yang mengakibatkan hilangnya kalor yang terbentuk. Peningkatan suhu sebesar 10°C dapat meningkatkan laju reaksi hingga dua kali lipat [10]. Kenaikan suhu juga akan mempengaruhi kenaikan nilai biotransformasi dalam aktivitas mikroorganisme, kenaikan solubilitas



Gambar 1. Kurva pengukuran suhu pada proses bioremediasi selama 42 hari.

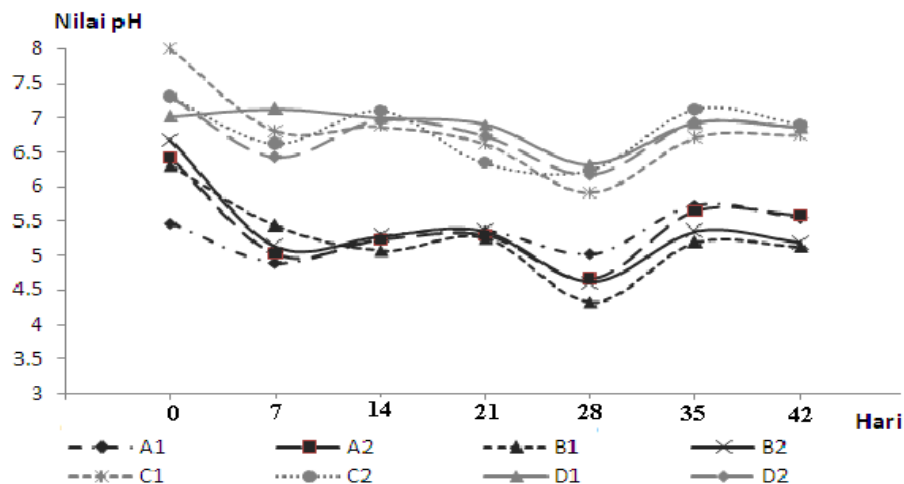
*sphaericus*, *Bacillus cereus* dan *Pseudomonas aeruginosa* dapat hidup pada suhu normal. Umumnya bakteri *Bacillus sp.* mampu bertahan hingga suhu 45°C. Kisaran suhu ini sesuai dengan pertumbuhan bakteri jenis *mesofilik* yang dapat hidup pada suhu 15-45°C, dengan tingkat optimal pertumbuhan pada suhu 25-35°C. Sedangkan suhu optimum yang diperlukan bagi pertumbuhan bakteri dalam biodegradasi lumpur minyak adalah 20- 30°C [13,3]. Sedangkan suhu yang optimal untuk degradasi hidrokarbon adalah 30-40°C [3]. Dalam penelitian ini digunakan fungi

kontaminan, dan penurunan proses adsorpsi kontaminan di dalam tanah. Suhu optimum bagi hampir semua mikroorganisme tanah umumnya 10° - 40° C, walaupun ada beberapa yang dapat hidup pada suhu hingga 60° C (bakteritermofilik). Sedangkan pada suhu rendah (di bawah 5°C) akan memperlambat atau menghentikan proses biodegradasi. 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.

### Pengaruh pH pada bioremediasi lahan tercemar lumpur minyak

Nilai pH tanah berpengaruh pada kondisi optimum mikroorganisme pendegradasi hidrokarbon. Nilai pH akan mempengaruhi reaksi transformasi biotis, kemampuan fungsi-fungsi sel, seperti transportasi melalui membran sel, dan keseimbangan reaksi yang terkatalis oleh enzim [15]. Pertumbuhan mikroorganisme akan meningkat apabila pH berada pada kisaran 6 - 9 [10]. Pada Gambar 2 tampak nilai pH pada *composter* bioremediasi (B1, B2, C1, C2, D1 dan D2) menunjukkan kisaran sebesar 4,32 - 8. Pada kisaran tersebut, aktivitas bakteri berlangsung dalam melakukan proses metabolisme, sehingga akan mempengaruhi laju reaksi biodegradasi, akibat adanya perubahan struktur ionik *active site* enzim bakteri [13]. Sebaliknya nilai pH pada *composter* kontrol

metabolisme dan pertumbuhan bakteri dalam mendegradasi polutan, sehingga akan sulit mengharapkan kenaikan laju pertumbuhan bakteri yang cepat. Pada perlakuan B1 dan B2 memperlihatkan nilai pH rendah, yakni berkisar 4,32 - 6,68. Hal ini disebabkan selama proses pengomposan akan terjadi pelapukan yakni adanya proses perombakan lignoselulosa dan senyawa organik yang menghasilkan asam-asam organik. Senyawa hidrokarbon memiliki banyak kation bebas, yang menyebabkan limbah lumpur minyak bumi (*oil sludge*) cenderung bersifat asam lemah. Nilai pH awal yang tinggi dimungkinkan karena adanya kemampuan bakteri dalam melakukan respon toleransi asam dengan mekanisme pompa hidrogen. Beberapa bakteri memiliki kemampuan untuk melakukan upaya homeostatis terhadap keasaman lingkungan sebatas masih dalam



Gambar 2. Kurva pengukuran pH pada proses bioremediasi selama 42 hari.

(A1 dan A2) berada pada kisaran 4,66 - 6,41. Nilai pH *composter* kontrol lebih rendah dibandingkan pH *composter* bioremediasi, karena secara alamiah bakteri *indogenous* di dalam tanah menghasilkan asam atau metabolit lain yang terkadang berlebih. Hal itu mengakibatkan berkurangnya bakteri yang akan menggunakan asam atau metabolit yang tersedia, maka kondisi toksik tersebut akan menghalangi proses

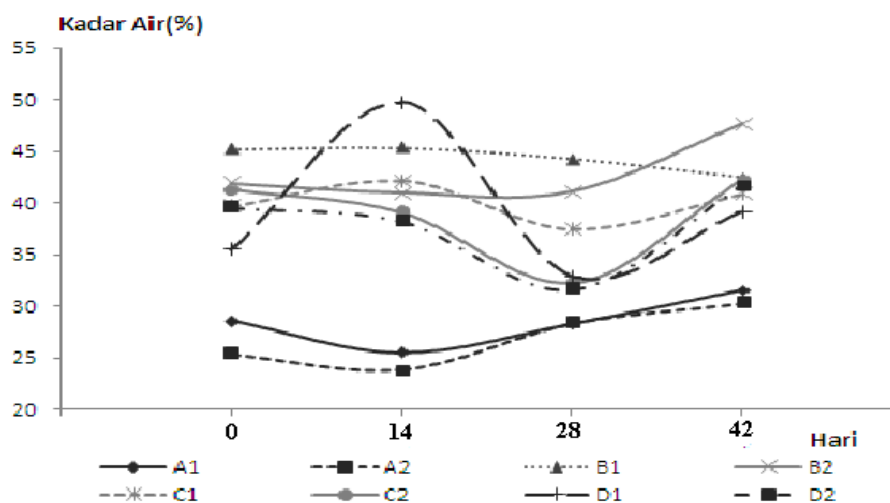
toleransi adaptasinya. Caranya dengan melakukan pertukaran kation  $K^+$  dari dalam sel dan menukarnya dengan  $H^+$  yang banyak terdapat di lingkungannya, sehingga keasaman lingkungan dapat dikurangi [6]. Sedangkan penurunan pH yang terjadi selama proses bioremediasi disebabkan oleh aktivitas konsorsium bakteri yang membentuk metabolit-metabolit asam. Biodegradasi alkana yang terdapat dalam

minyak bumi akan membentuk alkohol dan selanjutnya menjadi asam lemak. Asam lemak hasil degradasi alkana akan dioksidasi lebih lanjut membentuk asam asetat dan asam propionat, sehingga dapat menurunkan nilai pH medium [17]. Nilai pH berangsur-angsur menurun dan pada hari ke-42 mencapai kisaran 5,12 - 6,86. Nilai pH optimum yang dibutuhkan oleh mikroorganisme dalam mendegradasi hidrokarbon berkisar 5,0 - 7,8 [8]. Hal itu disebabkan pada kisaran pH tersebut, zat-zat makanan bagi mikroorganisme mudah larut dalam air dan mengoptimalkan kerja enzim oksigenase yang dihasilkan oleh mikroorganisme dalam mendegradasi hidrokarbon.

### Pengaruh kadar air pada proses bioremediasi

Kadar air tanah merupakan salah satu faktor penting untuk mengoptimalkan proses bioremediasi hidrokarbon. Keberadaan air di dalam tanah sangat dibutuhkan untuk aktivitas metabolik dari mikroorganisme pada limbah minyak bumi, karena mikroorganisme hidup aktif pada intefase air dan minyak [21]. Pada Gambar 3, terlihat bahwa kadar air *composter* kontrol (A1 dan A2) berkisar 23,83% - 31,59% lebih rendah dibandingkan *composter* bioremediasi

lainnya yang berkisar 31,61% - 49,74%. Hal ini disebabkan karena campuran *bulking agent* memiliki kemampuan menyerap air lebih besar dibandingkan tanah, sehingga mampu mempertahankan kelembaban tanah. Kondisi tanah yang lembab mengakibatkan degradasi bakteri optimal karena terpenuhinya nutrisi dan substrat. Kelembaban ideal bagi pertumbuhan bakteri adalah 25% - 28%, sedangkan kelembaban optimal untuk mendegradasi hidrokarbon berkisar 30% - 90% [14,4]. Bakteri yang digunakan untuk mendegradasi hidrokarbon adalah bakteri aerob, yaitu bakteri yang aktivitasnya membutuhkan oksigen. Oksigen yang diperlukan bakteri dapat diperoleh dari udara melalui proses pengadukan dan penyiraman air. Kadar air yang terlalu tinggi mengakibatkan sulitnya jalan masuk oksigen ke dalam tanah dan penurunan kadar air disebabkan oleh penguapan. Pada perlakuan B2 dengan kadar air berkisar 40,98% - 47,66% memberikan efisiensi degradasi TPH optimal sebesar 76,01% - 84,93%. Hubungan antara efisiensi degradasi TPH dan kelembaban menunjukkan bahwa kelembaban tinggi mengakibatkan efisiensi degradasi TPH meningkat, karena proses transfer nutrisi bagi bakteri berjalan optimal.

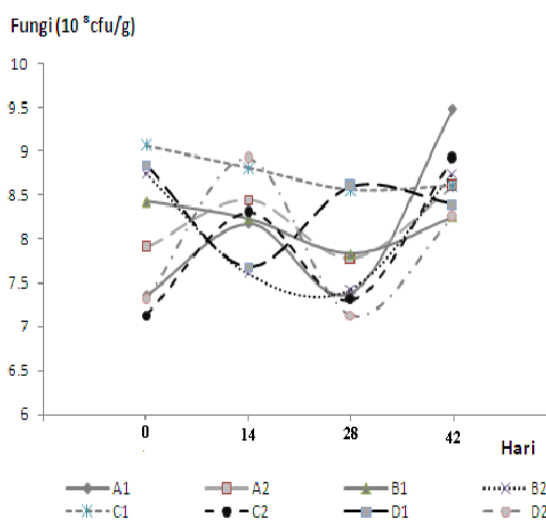


Gambar 3. Kurva kadar air pada proses bioremediasi selama 42 hari.

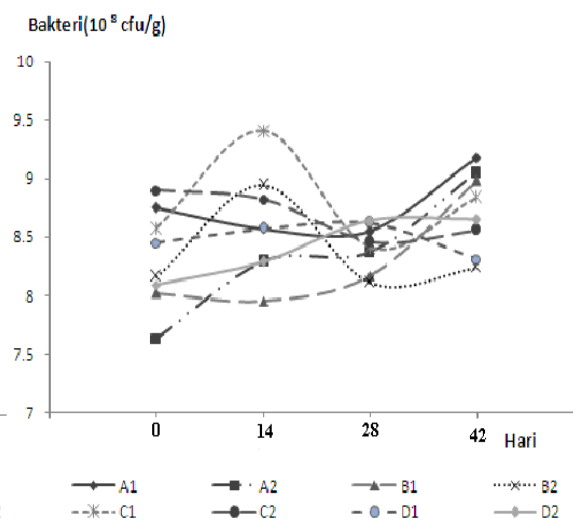
### Jumlah total mikroba dihitung dengan cara TPC (*Total Plate Count*)

Mikroorganisme merupakan *agent* utama terjadinya proses biodegradasi kontaminan hidrokarbon di tanah. Sumber karbon atau energi lainnya merupakan transformasi bahan organik dalam bentuk nutrisi, yang akan diubah oleh mikroorganisme. Semakin banyak mikroorganisme yang terlibat dalam proses, akan semakin membuka kemungkinan jalur proses degradasi [15]. Kerja fungi dan bakteri saling berhubungan, dimana mikroba ini pada awal dan akhir proses degradasi mampu bekerja aktif mengurai senyawa hidrokarbon terlihat pada Gambar 4 dan Gambar 5. Fungi cenderung bekerja aktif selama 28 hari pertama setelah itu bakteri baru akan bekerja. Pada Gambar 4 tampak pertumbuhan fungi menggunakan media *Potato Dextrose Agar* (PDA), yang menunjukkan bahwa masing-masing perlakuan mengalami pola pertumbuhan yang berfluktuasi. Fluktuasi ini terjadi sebagai akibat adanya suksesi dalam ekosistem tersebut. Pada Gambar 5 menunjukkan kurva pertumbuhan bakteri dalam media *Trypto Soya Agar* (TSA) selama 42 hari. Populasi bakteri cenderung mengalami peningkatan pada H-42. Hal ini menunjukkan bahwa bakteri dalam sampel

mampu beradaptasi pada kondisi ekstrim dengan memanfaatkan senyawa-senyawa yang terkandung dalam limbah minyak sebagai sumber nutrisi terutama karbon untuk melakukan proses metabolisme. Dalam penelitian skala mikrokosmos melibatkan 3 kelompok bakteri, yaitu kelompok bakteri yang memang sudah ada dalam *sludge* minyak bumi, kelompok bakteri *zymogenous* dalam bentuk konsorsium yang telah aktif hasil penelitian laboratorium, serta kelompok bakteri atau kultur campuran yang hidup di tanah, yang disebut bakteri *indigenous* [2]. Dengan demikian, akan terjadi interaksi di antara ketiga kelompok bakteri tersebut untuk memanfaatkan *sludge* minyak bumi dan sumber nitrogen. Diduga populasi bakteri yang mendominasi proses merupakan konsorsium bakteri yang memang telah teradaptasi dalam memanfaatkan *sludge* minyak bumi. Dalam hal ini tampaknya konsorsium uji mampu mendukung 20% polutan dalam bentuk *oil sludge* minyak bumi. Hasil penelitian Walker dan Colwell (1974, dalam [6]) menyebutkan keanekaragaman dan kelimpahan mikroorganisme pendegradasi hidrokarbon yang terdapat di alam memiliki hubungan yang linier dengan peningkatan kadar polusi hidrokarbon.



**Gambar 4.** Kurva pertumbuhan fungi pada proses bioremediasi 42 hari

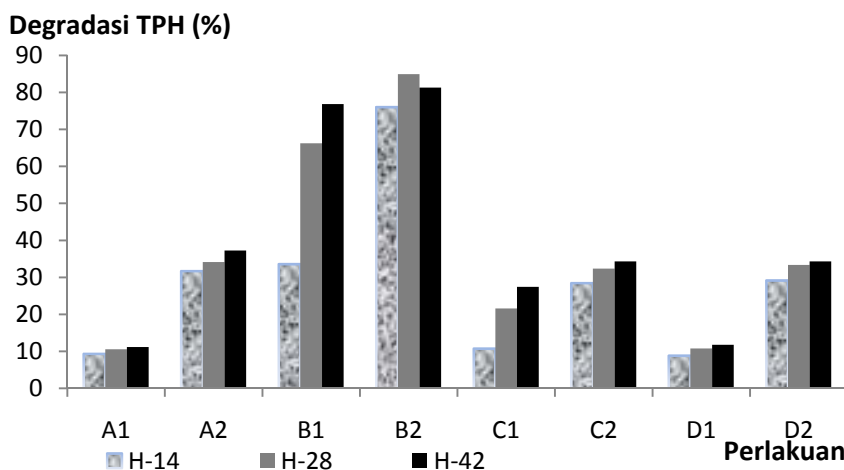


**Gambar 5.** Kurva pertumbuhan bakteri pada proses bioremediasi 42 hari

### Degradasi TPH (*Total Petroleum Hydrocarbon*) dari limbah minyak bumi

Pada proses biodegradasi limbah minyak bumi (*oil sludge*), substrat yang dapat dipastikan menurun konsentrasinya adalah senyawa hidrokarbon. TPH merupakan salah satu parameter penting dalam menentukan keberhasilan proses bioremediasi. Dari Gambar 6, terlihat bahwa % efisiensi degradasi TPH yang optimum dicapai sebesar 81,32 % dengan penambahan *bulking agents* berupa serbuk gergaji dan konsorsium inokulan mikroba pendegradasi hidrokarbon berbasis kompos

mempunyai kemampuan dalam proses utilisasi (pemanfaatan) substrat untuk dijadikan sumber makanan. Namun pada pelaksanaannya, mikroorganismenya ini membutuhkan serangkaian proses adaptasi alamiah, sehingga kemampuan optimum dalam memanfaatkan substrat tidak dapat berlangsung. Hasil penelitian menunjukkan bahwa keberadaan konsorsia mikroba berbasis kompos iradiasi menghasilkan persentase degradasi TPH yang lebih besar dibandingkan dengan persentase degradasi TPH minyak bumi tanpa konsorsia mikroba berbasis kompos iradiasi.



Gambar 6. Kurva % degradasi TPH pada proses bioremediasi selama 42 hari

iradiasi (B2). Peningkatan % efisiensi degradasi TPH ini disebabkan adanya reaksi biologis dari konsorsium inokulan yang ditandai dengan penggunaan substrat secara optimum dan didukung dengan penambahan *bulking agents* berupa serbuk gergaji yang merupakan campuran bahan organik yang berfungsi sebagai pengatur porositas dan menjaga kelembaban tanah. Sebaliknya, % efisiensi degradasi TPH pada *composter* kontrol berjalan sangat lambat. Hal ini disebabkan karena laju penurunan konsentrasi TPH yang bersifat alamiah dengan adanya reaksi biologis dari mikroorganismenya *indogenous* yang berada di dalam tanah. Mikroorganismenya ini juga

Sejak fase adaptasi pertama (hari ke-14) hingga fase adaptasi akhir (hari ke-42) % degradasi TPH tertinggi terjadi pada perlakuan B2, dan mencapai % degradasi TPH maksimum sebesar 84,93% pada fase adaptasi kedua (hari ke-28). Menurut Walker dan Colwell (1974, dalam [6]) menyebutkan keanekaragaman dan kelimpahan mikroorganismenya pendegradasi hidrokarbon yang terdapat di alam memiliki hubungan yang linier dengan peningkatan kadar polusi hidrokarbon. Hal ini berarti konsorsium bakteri dalam perlakuan B2 ini, dapat memanfaatkan hidrokarbon sebagai sumber karbon, sehingga proses degradasi hidrokarbon berlangsung efektif yang

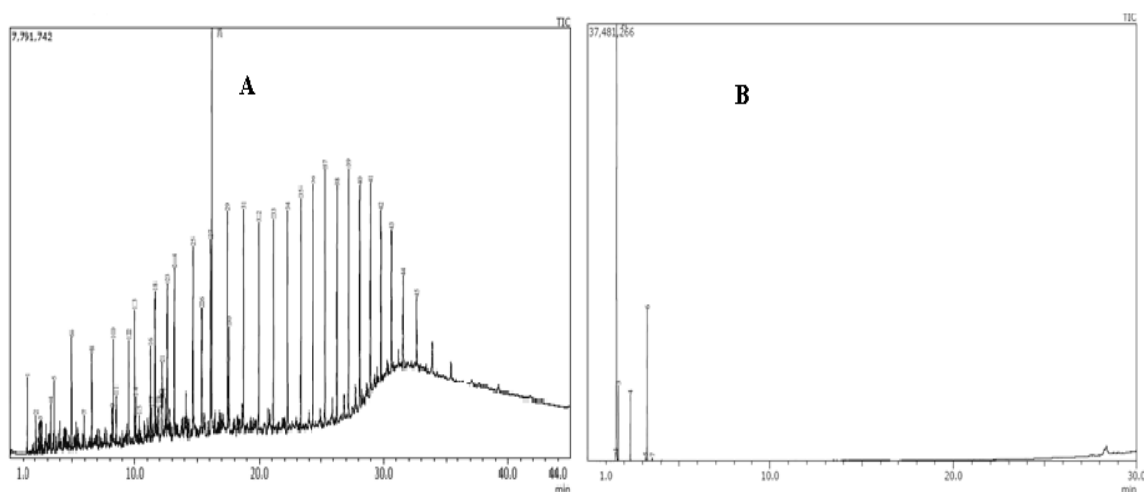


dibuktikan dengan semakin tingginya % degradasi TPH yang dihasilkan. Komposisi *bulking agent* menunjukkan bahwa penggunaan serbuk gergaji dapat mempercepat proses degradasi senyawa hidrokarbon karena dapat memperbaiki permeabilitas dan porositas tanah. Sebaliknya penambahan kompos dan *sludge* biogas menyebabkan pemadatan tanah yang berpengaruh terhadap kerja mikroba karena oksigen tidak dapat masuk ke dalam sampel. Selain itu, kondisi lingkungan fisik seperti suhu dan aerasi serta faktor mekanik seperti pengadukan juga sangat mempengaruhi besarnya % degradasi TPH. Senyawa hidrokarbon yang tertumpah di alam akan mengalami degradasi secara alamiah karena faktor-faktor lingkungan, meskipun laju degradasinya berlangsung lambat [9]. Proses degradasi tersebut meliputi penguapan, teremulsi dalam air, teradsorpsi pada partikel padat, tenggelam dalam perairan serta mengalami biodegradasi oleh mikroba pengguna hidrokarbon. Suhu tinggi dapat menyebabkan terjadi penguapan hidrokarbon, terutama senyawa berberat molekul rendah yang biasanya bersifat toksik [12]. Pada penelitian di laboratorium, pengocokan medium dapat berlangsung lebih efektif karena menggunakan *shaker*

*incubator*, tidak demikian halnya dengan penelitian skala mikrokosmos. Faktor pengadukan mikrokosmos secara manual diperkirakan menyebabkan pencampuran antara tanah sebagai media, limbah minyak bumi (*oil sludge*) sebagai sumber polutan serta konsorsium bakteri dalam mikrokosmos kurang homogen. Oleh karena itu, suplai oksigen menjadi kurang efektif. Hal ini pun dapat mempengaruhi besarnya % degradasi TPH.

### Analisa GC-MS

Aktivitas mikroba dalam mendegradasi limbah minyak bumi dilakukan dengan memotong-motong rantai karbon yang panjang pada komponen hidrokarbon alifatik serta mentransformasikan senyawa hidrokarbon aromatic menjadi senyawa-senyawa yang lebih sederhana, sehingga limbah minyak bumi tersebut akan memperlihatkan perubahan komposisi fraksi hidrokarbon penyusunnya [19]. Kromatogram hasil GC-MS (*Gas Chromatography-Mass Spectrofotometri*) untuk sampel B2 kondisi awal dan akhir proses bioremediasi ditunjukkan pada Gambar 7. Berdasarkan kromatogram tersebut, secara umum maka pada akhir perlakuan (hari ke-42) terjadi penurunan luas area puncak yang



**Keterangan :** A = komposisi Hidrokarbon sampel B2 pada awal perlakuan  
B = komposisi Hidrokarbon sampel B2 pada akhir perlakuan

**Gambar 7.** Kromatogram hasil analisa GC-MS degradasi senyawa hidrokarbon

terdeteksi pada waktu tambat 1 sampai 30 menit dibandingkan dengan kondisi awal perlakuan (hari ke-0). Hal itu menunjukkan bahwa telah terjadi degradasi senyawa hidrokarbon. Pada Tabel 2 ditunjukkan kelimpahan senyawa hidrokarbon pada awal dan akhir proses bioremediasi. Pada awal perlakuan hidrokarbon terdiri dari kelompok parafinik, olefin dan aromatik dengan distribusi rantai karbon C-7 sampai C-54. Penambahan *bulking agents* serbuk gergaji yang diperkaya konsorsia inokulan mikroba berbasis kompos iradiasi pada bioremediasi setelah 42 hari menghasilkan senyawa hidrokarbon yang didominasi oleh kelompok aromatik Hal ini diduga

mikroorganisme yang digunakan aktif mendegradasi senyawa parafinik. Proses bioremediasi setelah 42 hari menyisakan hidrokarbon kelompok parafinik dan aromatik dengan distribusi rantai C-6 sampai C-8.

Pada awal perlakuan, 2, 4, 6, 10-tetrametilheksadekana (C-20) merupakan senyawa yang memiliki % area tertinggi sebesar 8,6; sedangkan di akhir perlakuan senyawa heksana (C-6) memiliki % area tertinggi sebesar 66,8. Tingginya % area pada akhir perlakuan diduga merupakan sisa hasil degradasi dari n-alkana rantai panjang menjadi n-alkana rantai pendek.

**Tabel 2.** Kelimpahan Senyawa Hidrokarbon pada Awal dan Akhir Perlakuan.

No	Senyawa Hidrokarbon	C Ke-n	Waktu Retensi	% Area	
				Awal	Akhir
1	2-Metilpentana	C-6	1.542	td	0.8
2	Heksana	C-6	1.58	td	66.8
3	Metilsiklopentana	C-6	1.676	td	7.06
4	Metilsikloheksen	C-7	2.075	0.45	td
5	Metilbenzen	C-7	2.333	td	6.39
6	1,3-Dimetilsikloheksen	C-8	2.420	0.43	td
7	O-Xylene	C-8	3.260	0.60	18.14
8	Etilbenzen	C-8	3.162	td	0.49
9	1,2-Dimetilbenzen	C-8	3.530	td	0.32
10	2,2,3,3-Tetrametilheksana	C-10	3.538	0.95	td
11	2-Methylnaftalen	C-11	10.068	0.81	td
12	Undekana	C-11	6.555	1.39	td
13	1,4-Dimetilnaftalen	C-12	12.130	0.91	td
14	2-Delana	C-12	8.272	1.56	td
15	Tetradekana	C-14	9.998	1.95	td
16	4,4,8,9,10-Pentametilnaftalendekahidro	C-15	11.332	0.74	td
17	Oktadekana	C-18	13.187	2.33	td
18	Eikosana	C-20	18.724	3.55	td
19	2,4,6,10-Tetrametilheksadekana	C-20	16.184	8.56	td
20	Sulforous acid, dodecyl, 2-ethylhexylester	C-20	9.512	1.37	td
21	Heneikosana	C-21	14.675	2.69	td
22	Keksakosana	C-26	21.118	3.45	td
23	Dotriakontana	C-32	26.292	4.21	td
24	Heksatriakontana	C-36	28.100	3.59	td
25	Tetrapentakontana	C-54	31.549	1.94	td

## KESIMPULAN

Bioremediasi lahan tercemar limbah lumpur minyak selama 42 hari menunjukkan bahwa perlakuan B2 yakni penambahan konsorsia inokulan mikroba berbasis kompos iradiasi dalam 30 % serbuk gergaji (*Bulking agent*) pada konsentrasi tanah 50% dengan cemaran *oil sludge* 20% memberikan efisiensi degradasi TPH optimal sebesar 81,32%. Kromatogram hasil analisis GC-MS menunjukkan bahwa bioremediasi pada perlakuan B2 menunjukkan bahwa hidrokarbon awal dengan distribusi rantai karbon C-7 sampai C-54 terdegradasi dan pada akhir pengomposan terdeteksi hidrokarbon dengan distribusi rantai karbon C-6 sampai C-8.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Bapak Marwadi (PAIR-BATAN) dan Sdri. Julia Rahmawati dan Sdri. Siti Fatimah Arif (Universitas Islam Negeri Syarif Hidayatullah, Jakarta) atas bantuan teknis selama penelitian ini berlangsung.

## DAFTAR PUSTAKA

1. ANDERSON, W.C., Innovative Remediation Technology (Bioremediation). USA: Water Environment Federation (1995).
2. ASTRI, N., Biodegradasi *Sludge* Minyak Bumi dalam Skala Mikrokosmos: Simulasi Sederhana Sebagai Kajian Awal Bioremediasi *Land Treatment*, Makara, Teknologi, Vol. 10, No. 2, November 2006: 82-89 (2006).
3. ANTIZAR-LADISLAO, B., BECK, A.J., SPANOVA, K., LOPEZ-REAL, J., RUSSELL, N.J., The influence of different temperature programmes on the bioremediation of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in a coal-tar contaminated soil by invessel composting. *J. Hazard. Mater.* 144, 340-347 (2007).
4. BIJAY THAPA, AJAY KUMAR KC, ANISH GHIMIRE, A review on bioremediation of petroleum hydrocarbon contaminants in soil, *Kathmandu University Journal of Science, Engineering and Technology*, Vol. 8, No. I, February, 2012, pp 164-170 (2012).
5. CAPONE, D.G., BAUER, J.E., *Microbial Processes in Coastal Pollution*, Environmental Microbiology. Willey-Liss Inc. New York (1992).
6. CHATOR and SOMERVILLE, *The Oil Industry and Microbial Ecosystems*, Heyden & Son Ltd. London (1978).
7. DEACON, J.W., *Introduction to Modern Mycology*, London: Blackwell Scientific Publication (1984).
8. DIBBLE JT & BARTHA R., Effect of Environmental parameters on the biodegradation of oil sludge, *Appl. Environ. Microbiol.* 37: 729 - 739 (1979).
9. DOERFFER, J.W, *Oil Spill Response in the Marine Environment*, First Ed Pergamon Press, Tokyo, p. 9-20, 91-99, 133-161 (1992).
10. EWEIS JB, ERGAS SJ, CHANG EDDPY, SCHOROEDER, *Bioremediation Principles*. New York: McGraw-Hill (1998).
11. FNCA BIOFERTILIZER PROJECT GROUP, *Biofertilizer Manual*, Pages 41-89, Forum for Nuclear Cooperation in Asia (FNCA), Japan Atomic Industrial Forum, Tokyo (2006).

12. HARAYAMA, S.K., Biodegradation of Crude Oil. Program and Abstracts in the First Asia-Pasific Marine Biotechnology Conference. Shimizu, Shizuoka, Japan (1995).
13. Helmy, Q., Pengaruh Penambahan Surfaktan Terhadap Biodegradasi Sludge Minyak Bumi Oleh Konsorsium Bakteri Petrofilik, Teknik Lingkungan ITB, Bandung (2006). (Tidak Dipublikasikan).
14. M. VIDALI, Bioremediation. An overview, *Pure Appl. Chem.*, 73(7) 1163 (2001).
15. NOTODARMOJO, S., Pencemaran Tanah & Air Tanah, Penerbit ITB, Bandung (2005).
16. PERTAMINA, Pedoman Pengelolaan Limbah Sludge minyak pada Kegiatan Operasi Pertamina, Jakarta: Pertamina (2001).
17. ROSENBERG, E., LEGMANN, R., KUSHMARO, A., TAUBE, R., and RON, E.Z., Petroleum Bioremediation a Multiphase Problem: Biodegradation, p. 337 - 350 (1992).
18. RYCKEBOER, J., COOSEMANS, J., SWINGS, J., MERGAERT, J., GESTEL, V.K., Bioremediation of Diesel Oil-Contaminated Soil by Composting with Biowaste. *Environ. Poll.*, 125: 361-368 (2003).
19. SHARPLEY, J.M., *Elementary Petroleum Microbiology*, Gulf Publishing Company. Texas (1966).
20. SINHA, U. & SRIVASTAVA, An Introduction to bacteria, Vikas Publishing House PVT LTD, New Delhi: VI, 259 (1997).
21. UDIHARTO M, SA RAHAYU, A HARIS, ZULKIFLIANI, Peran Bakteri dalam Degradasi Minyak dan Pemanfaatannya dalam Penanggulangan Minyak Buangan. Prosiding Diskusi Ilmiah VIII (PPPTMGB). Jakarta: Lemigas (1995).
22. WHITE, C.D., CHANG, J.Y., DAVIS, A.G., VENOSA, D.A., STEPHEN, R.J., MACNAUGHTON JS., Microbial Population Changes During Bioremediation of Experimental Oil Spill. *Appl. Environ. Microb.*, 65 (8), 3566-3574 (1999).