

# STUDI PENGARUH *BULKING AGENTS* PADA PROSES BIOREMEDIASI LUMPUR MINYAK

## STUDY ON EFFECT OF *BULKING AGENTS SELECTION* ON BIOREMEDIATION OF OIL SLUDGE

Mochamad Arief Budihardjo

Program Studi Teknik Lingkungan, Universitas Diponegoro, Semarang

email: pak\_arief@yahoo.com

### Abstrak

Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui kondisi media yang sesuai pada proses bioremediasi *oil sludge*, mengetahui besarnya efisiensi penyisihan *Total Petroleum Hydrocarbons* (TPH), dan mengetahui jenis *bulking agents* yang paling baik. Campuran bahan yang digunakan adalah tanah bersih, *oil sludge*, *bulking agents*, pupuk NPK, dan pupuk kandang. Kadar TPH awal yang digunakan sebesar 5,58%. *Bulking agents* yang digunakan adalah sekam padi, serbuk gergaji, dan rumput liar. Untuk variabel kontrol yang diukur adalah *humidity*, suhu, pH, dan nutrisi. Penelitian ini dibatasi hingga kadar TPH akhir maksimal 1%, sesuai dengan KepMenLH No 128/2003, yang mentoleransi kadar TPH maksimal 1%. Hasil penelitian menunjukkan rasio C/N/P yang menurun setelah 15 hari. Selain itu pH sebesar 5–9 telah memenuhi kriteria sebagai media yang sesuai bagi mikroba tanah (pH ideal 6-9). Suhu selama penelitian (15-45°C) tergolong ideal bagi pertumbuhan bakteri. Kelembaban cenderung stabil antara 12-30%. Masing-masing *windrow* menunjukkan pola penurunan konsentrasi TPH yang tipikal. Kadar TPH pada akhir penelitian berbeda. Sedangkan efisiensi penyisihan TPH dengan menggunakan *bulking agents* sekam padi, rumput liar, dan serbuk gergaji masing-masing sebesar 76,85%, 87,05%, dan 79,43%. *Windrow* yang menunjukkan efisiensi penyisihan TPH terbesar dengan konsentrasi TPH akhir paling kecil, adalah *windrow* B, yaitu yang menggunakan *bulking agents* rumput liar.

Kata kunci: Bioremediasi, *bulking agent*, lumpur minyak, *windrow*

### Abstract

This research was aimed to determine the appropriate conditions of the bioremediation processes, to determine TPH removal efficiency in oil sludge bioremediation, and to determine the best type of bulking agents for reducing TPH concentration. The mixture used were clean soil, oil sludge, bulking agents, NPK fertilizer, and chicken manure. The initial concentration of TPH used is 5,58 %. Bulking agents used are rice husks, grass, or sawdust. Control variable measured are humidity, temperature, pH, and nutrition. This research was limited by the final concentration of TPH 1 % according to Ministry of Environmental Ministry Decree (KepMenLH). No.128, 2003, which stated the maximum TPH concentration is 1%. The results showed that C/N/P ratio decreased after fifteen days. The pH values were 5-9, which met the bioremediation criteria that suitable for microorganisms to live. The temperature's range was 15-45°C. The humidity was stable, between 12-30%. All windrows showed similar TPH decreasing pattern, but the final TPH concentrations were of different values. TPH removal efficiencies using rice husk, grass, and sawdust were of 76,85%, 87,05%, and 79,43% respectively. This research showed the highest TPH removal efficiency was in windrow B, where grass was used as the bulking agent.

Keywords: Bioremediation, bulking agent, oil sludge, windrows

### 1. PENDAHULUAN

Perusahaan minyak menghasilkan limbah minyak dalam bentuk lumpur dari berbagai lapangan produksi. Menurut Damanhuri (1996), lumpur adalah bahan berfase solid yang bercampur dengan media air (*liquid*), namun tidak dapat disebut atau disamakan dengan air. Sedangkan limbah lumpur minyak (*oil sludge*) adalah kotoran minyak yang terbentuk dari proses pengumpulan dan pengendapan kontaminan minyak yang tidak dapat

digunakan atau diproses kembali dalam proses produksi. Kandungan terbesar dalam *oil sludge* adalah *petroleum hydrocarbon* (Pertamina, 2001), yang dapat diolah dengan proses bioremediasi. Bioremediasi yang diterapkan oleh perusahaan minyak di Indonesia mengadopsi skema IPOC (*Industrial Pilot for Oily waste Composting*).

Biodegradasi hidrokarbon berlangsung dalam suasana aerob. Yulindra (2003) menyatakan pola biodegradasi hidrokarbon adalah sebagai berikut:

(1) jenis alifatik dibiodegradasi dalam jumlah besar, sedangkan jenis aromatik dioksidasi parsial; (2) n-alkana dengan rantai C lebih kecil dari 10, tidak dicerna, tetapi hanya dioksidasi; (3) hidrokarbon jenuh lebih mudah didegradasi dibanding jenis tak jenuh.

Mikroba yang berperan adalah mikroba *indigenous*, yaitu mikroba yang hidup di lingkungan tercemar, dan mikroba *eksogenus*, yaitu mikroba yang ditambahkan dari luar, yang berpotensi tinggi untuk mendegradasi (Yulindra, 2003). Yang dimaksudkan dengan *bulking agents* adalah bahan tambahan yang digunakan untuk memperbaiki permeabilitas, *water holding capacity*, dan porositas untuk meningkatkan laju biodegradasi dalam proses pemulihan (Tim Perumus Bioremediasi BPMIGAS-KKKS, 2003). Selain itu menurut Anderson (1995), *degradability* campuran dapat ditingkatkan dengan penambahan bahan organik mudah urai dengan kandungan C yang tinggi. *Bulking agents* tersebut berfungsi sebagai pengatur porositas, kelembaban, dan sumber nutrisi.

Limbah yang diolah maksimal mengandung 20% minyak dari berat campuran lumpur dan *bulking agents* (Pertamina, 2001), atau sebesar 15% (MENKLH, 2003). Perbandingan antara bahan pencampur (tanah bersih atau *bulking agents*) dan limbah lumpur maksimal 1:3 (Cookson, 1995). Menurut Tchobanoglous, Theisen dan Vigil (1993), semakin lama proses bioremediasi, kandungan TPH semakin berkurang, karena jumlah mikroba semakin meningkat. Namun aktivitas mikroba pada tanah dapat berfluktuasi selama proses berlangsung (Margesin dan Schinner, 2001).

## 2. METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian diawali dengan karakterisasi tanah bersih, *oil sludge*, dan pupuk kandang, yang kemudian diikuti perancangan sistem *windrow* berskala laboratorium. Penelitian ini menggunakan 4 macam *windrow* dengan jenis *bulking agents* yang berbeda, dan dibuat triplo. Langkah-langkah yang ditempuh adalah: (1) Penempatan lumpur minyak pada *windrow* A (sekam padi), B (rumput), C (serbuk gergaji), D (kontrol), hingga kadar TPH pada masing-masing *windrow* sebesar 5,58% (Tabel 1). Jumlah *oil sludge* yang ditambahkan adalah 650 L. (2) Penambahan tanah tidak tercemar secara manual. Perbandingan tanah dengan limbah lumpur minyak yang digunakan adalah 1:2, yang

dianggap maksimal untuk mendapatkan laju oksigen maksimal (Cookson, 1995). Sehingga penambahan bahan pencampur total adalah 350 L (Tabel 1). (3) Penambahan *bulking agents* dengan lumpur minyak dengan perbandingan 1:3. (4) Penambahan nutrisi C:N:P = 100:10:1.

**Tabel 1.** Konsentrasi TPH dan Jumlah Tanah Bersih

Nama <i>Windrow</i>	Konsentrasi TPH	Jumlah Tanah Bersih
<i>Windrow</i> A	TPH 5,58%	175 liter
<i>Windrow</i> B	TPH 5,58%	175 liter
<i>Windrow</i> C	TPH 5,58%	175 liter
<i>Windrow</i> D	TPH 5,58%	175 liter

Pada tahap bioremediasi, dibuat *windrow* sesuai rancangan. Selanjutnya dilakukan monitoring yang terdiri atas pengawasan *piles*, pengukuran suhu, penyiraman, pembalikan, dan sampling rutin. Kemudian dilakukan analisis hasil bioremediasi, dengan parameter pH, suhu, kelembaban, kandungan hidrokarbon, N, P, K, *bacterial count*, dan konsentrasi TPH. Kadar TPH akhir maksimal yang dipantau sampai dengan 1%. Variabel kontrol yang diukur adalah *humidity*, suhu, pH, dan nutrisi. Tahap analisis data dilakukan dengan analisis deskriptif dan statistik.

## 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

### Karakteristik Tanah Bersih

Tanah yang digunakan adalah jenis *clay sand*, dengan kandungan dominan pasir (Tabel 2). Tanah berpasir baik untuk proses bioremediasi karena sebagian besar pori-porinya merupakan makropori, yang sangat efisien bagi pergerakan udara dan air (Yulindra, 2003). Massa jenis ( $\rho$ ) tanah bersih = 1,89 g/mL. Tanah bersih diambil dari sekitar daerah penelitian.

**Tabel 2.** Hasil Analisis Tanah Bersih

Karakteristik	Nilai
Warna	Coklat muda
<i>Humidity</i>	12,39%
<i>Gravel</i>	23,55%
<i>Sand</i>	71,45%
<i>Fines</i>	5%
Jenis Tanah	<i>clay-sand</i>

### Karakteristik *Oil Sludge*

Kelembaban *oil sludge* awal adalah 18%, sesuai dengan persyaratan pengomposan dalam bioremediasi. Sedangkan pH *oil sludge* berkisar 5-

9, dan sesuai dengan *range* yang dipersyaratkan untuk pengomposan, yaitu 6-9.

**Bulking Agents**

Rasio C/N dalam serbuk gergaji 200-500, dan kadar airnya 30%. Sekam padi mempunyai kadar air 11,8-12,9%. *Range* kadar air sekam padi yang digunakan 9-13% (Yulindra, 2003). Sekam padi dan serbuk gergaji diharapkan dapat memperbaiki tekstur campuran, agar dapat menghindari pemadatan dan menaikkan porositas. Rumput dengan kandungan organik relatif tinggi diharapkan dapat meningkatkan porositas media.

**Pupuk NPK**

Kadar N, P, dan K dalam pupuk sebesar 16%, yang artinya kadar masing-masing N, P, dan K sebesar 16% dari berat total pupuk NPK. Jadi perhitungan jumlah pupuk NPK yang digunakan berdasarkan jumlah nitrogen yang terdapat dalam pupuk tersebut.

**Pupuk Kandang**

Kelembaban pupuk kandang tinggi, yaitu tidak termasuk dalam *range* yang dipersyaratkan untuk pengomposan dalam bioremediasi, yaitu 12-30%. Namun mengingat kelembaban *oil sludge* dan sekam padi yang tidak terlalu tinggi, meskipun masih sesuai dengan *range* yang dipersyaratkan, maka penambahan pupuk kandang tersebut diharapkan dapat meningkatkan kelembaban campuran.

**Variabel Kontrol**

**Nutrisi**

Sumber nutrisi yang digunakan adalah pupuk NPK dan pupuk kandang. Jumlah NPK pada masing-masing *windrow* dapat dilihat pada Tabel 3. (Cooksons, 1995).

**Tabel 3.** Jumlah N, P, K pada *Windrow* (mg/kg)

Nama <i>Windrow</i>	8 September			23 September		
	N	P	K	N	P	K
<i>Windrow A</i>	5852	115	3765	5280	21	1911
<i>Windrow B</i>	7176	93	2385	6276	38	1765
<i>Windrow C</i>	6520	100	1310	5530	27	1463
<i>Windrow D</i>	5215	78	1733	4825	27	1978

Hasil analisis menunjukkan rasio C/N/P yang menurun dari rasio C/N/P analisis sebelumnya. Hal ini menunjukkan adanya penurunan nitrogen yang besar pada *windrow B* dan *C*, yaitu *windrow* dengan penggunaan *bulking agents* rumput dan serbuk gergaji. Hal tersebut berhubungan dengan aktivitas mikrobanya. Rasio C/N/P akhir tidak

dilakukan perhitungan karena tujuan akhir dari penelitian ini adalah penurunan konsentrasi TPH. Selain itu rasio C/N/P pada Tanggal 8 dan 23 September telah memenuhi range rasio C/N/P yang dipersyaratkan (Tabel 4 dan Tabel 5).

**Tabel 4.** Rasio C/N/P Pada Hari ke-15

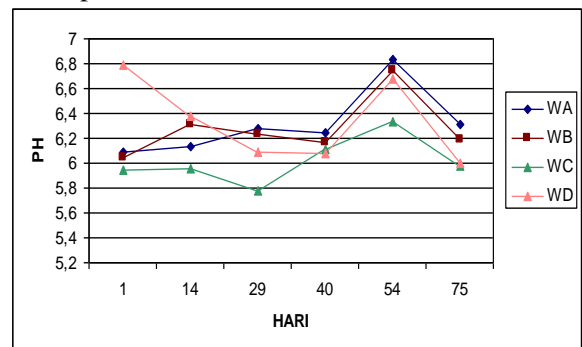
Nama <i>windrow</i>	C (kg)	N (kg)	P (kg)	K (kg)	Rasio C/N/P/K
A	17,49	8,61	0,169	5,54	100/49,23/0,966/31,68
B	18,31	10,57	0,137	3,51	100/51,73/0,748/19,17
C	17,74	9,6	0,147	1,93	100/51,11/0,83/10,88
D	19,2	7,68	0,115	2,55	100/40/0,6/13,28

**Tabel 5.** Rasio C/N/P Pada Hari Ke-30

Nama <i>windrow</i>	C (kg)	N (kg)	P (kg)	K (kg)	Rasio C/N/P/K
A	17,17	7,77	0,03	2,81	100/45,25/0,175/16,37
B	18,87	9,24	0,056	2,6	100/48,97/0,3/13,78
C	18,47	8,14	0,04	2,15	100/44,07/0,217/11,64
D	21,56	7,1	0,04	2,91	100/32,93/0,185/13,5

**pH**

Kondisi pH tanah dijaga antara 5-9 atau mendekati 6-9 (KEPMENLH No 128/2003). Nilai pH campuran cenderung asam, namun masih sesuai dengan *range* pH yang dipersyaratkan (Gambar 1). Alasan turunnya pH dikarenakan aktifitas mikroba menghasilkan produk pertama berupa alkohol, aldehyd, dan asam karboksilat. Produk yang diharapkan adalah CO<sub>2</sub> dan H<sub>2</sub>O.

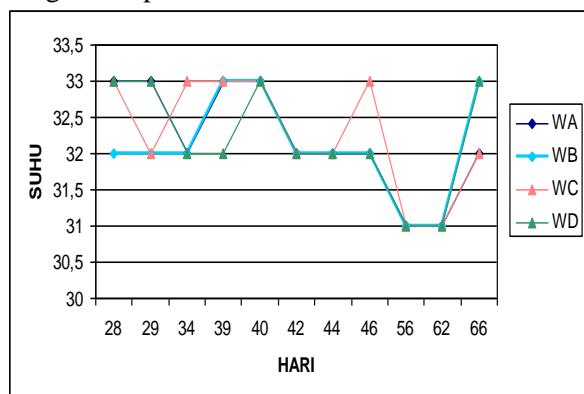


**Gambar 1.** Hasil Pengukuran pH

**Suhu**

Suhu pada umumnya berkisar 31-33<sup>0</sup>C (Gambar 2). Oleh karena itu, penelitian tersebut menunjukkan adanya laju proses yang meningkat sesuai kenaikan suhu. Namun, menurut Sim *et al* (1990, dalam Sulistyowati, 2001), suhu yang tercatat merupakan suhu ideal bagi pertumbuhan bakteri. Suhu cenderung rendah karena *oil sludge* dicampur dengan *bulking agents*, pupuk NPK, pupuk

kandang, diaduk rutin, dan dicampur dengan tanah bersih. Kondisi tersebut meningkatkan porositas campuran, yang menyebabkan cepat hilangnya panas yang terbentuk. Sedangkan pembalikan yang terlalu sering akan mempercepat penguapan air yang menyebabkan tumpukan menjadi sulit mengisolasi panas.



Gambar 2. Hasil Pengukuran Suhu

### Kelembaban

Kelembaban tanah diukur setiap 2 minggu sekali. Menurut Eweis, *et al.* (1998, dalam Sulistyowati, 2004) kelembaban ideal bagi pertumbuhan mikroba tanah adalah 12-30%. Sedangkan hasil penelitian menunjukkan kelembaban 12-36% (Tabel 6). Kelembaban dipengaruhi pula oleh curah hujan. Hasil analisis juga menunjukkan *bulking agents* mempengaruhi tingkat kelembaban campuran yang relatif stabil.

### Konsentrasi TPH

Hasil analisis TPH tercantum pada Tabel 7. Penurunan kadar TPH yang besar ditunjukkan dengan penggunaan nutrisi yang besar pula. Nutrisi menunjukkan pengaruh yang signifikan untuk meningkatkan respirasi tanah dan aktivitas enzim mikroba terutama pada awal proses (Margesin dan Schinner, 2001). Gambar 3 menunjukkan fluktuasi kadar TPH yang menurun dibandingkan dengan kadar awalnya. Penurunan yang besar pada awal penelitian di masing-masing *windrow* tidak menunjukkan peran *bulking agents*, sebab pada *windrow* kontrol dan pada yang menggunakan *bulking agents* mengalami penurunan kadar TPH yang besar. Pada awal penelitian, *windrow* D menunjukkan kadar TPH terkecil, namun pada hari selanjutnya terjadi kenaikan konsentrasi TPH dibandingkan dengan *windrow* yang lain. Hal yang sama juga terjadi pada penelitian oleh Margesin dan Schinner (2001). Pada penelitian tersebut juga menunjukkan lebih rendahnya kadar TPH di reaktor yang tidak ditambahi pupuk, dibandingkan

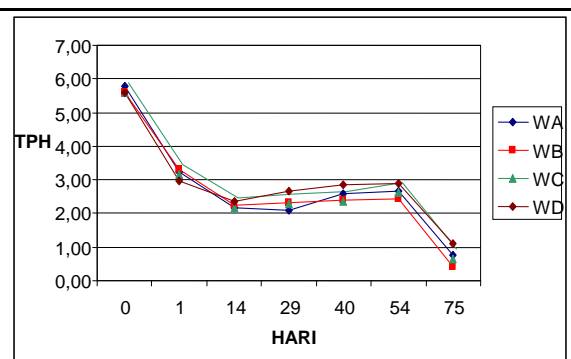
dengan di reaktor yang ditambahi pupuk. Hal tersebut menunjukkan bahwa dengan suplai nutrisi yang rendah, pada awal penelitian terjadi penyisihan TPH yang cukup besar. Namun penyisihan TPH pada hari selanjutnya cenderung menurun. Pada hari selanjutnya terjadi selisih konsentrasi TPH di *windrow* yang menggunakan *bulking agents* dan di *windrow* kontrol tanpa *bulking agents*. Penurunan konsentrasi TPH pada *windrow* D relatif paling kecil dibandingkan pada *windrow* yang menggunakan *bulking agents*. Hal tersebut memperlihatkan peran *bulking agents* dalam mendukung proses bioremediasi untuk memberikan penurunan konsentrasi TPH yang besar karena peningkatan aktivitas mikroba.

Tabel 6. Hasil Analisis Kelembaban Tanah (%)

Hari	W A	W B	W C	W D
1	16	15	18	36
14	17	17	15	17
29	11	12	15	16
40	21	16	17	21
54	27	25	25	27
75	20	17	16	20

Tabel 7. Hasil Analisis TPH pada Campuran

Hari	Jenis Windrow			
	A	W B	W C	W D
0 ( <i>before</i> )	5.58	5.58	5.58	5.58
1	3.24	3.32	3.16	2.98
14	2.15	2.25	2.18	2.36
29	2.11	2.32	2.27	2.65
40	2.58	2.39	2.34	2.85
54	2.67	2.42	2.61	2.91
75	0.75	0.43	0.65	1.1



Gambar 3. Hasil Pengukuran TPH

Selain itu masing-masing *windrow* menunjukkan pola penurunan konsentrasi TPH yang tipikal (relatif sama) walaupun konsentrasi TPH pada

akhir penelitian berbeda. Hal tersebut menunjukkan kondisi variabel-variabel kontrol yang mendukung proses bioremediasi pada setiap *windrow* termasuk kemampuan yang optimal dari *bulking agents* yang digunakan.

**Tabel 8.** Efisiensi Penyisihan Konsentrasi TPH

Waktu	WA	WB	WC
Awal	3,24	3,32	3,16
Akhir	0,75	0,43	0,65
Penyisihan	76,85%	87,05%	79,43%

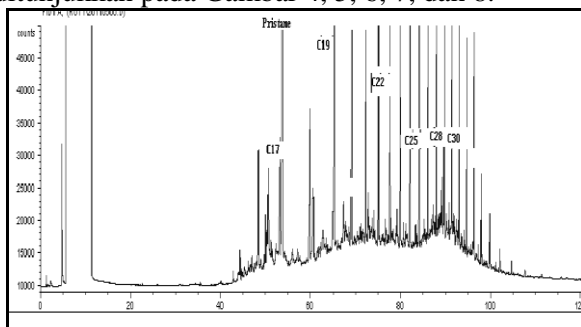
Analisis statistik menunjukkan adanya perbedaan penurunan kadar TPH akibat penggunaan *bulking agents* sekam padi, rumput, atau serbuk gergaji dan tidak digunakannya *bulking agents* secara nyata (Tabel 8). Nilai *mean* menunjukkan nilai terendah (2,1883) terdapat pada *windrow* yang menggunakan rumput (Tabel 9). Jadi rumput merupakan *bulking agent* paling berpengaruh dalam penurunan kadar TPH dibandingkan *bulking agents* lainnya.

**Tabel 9.** Konsentrasi TPH

<i>Bulking Agent</i>	N	Subset	
		1	2
Rumput	6	2.1883	
Sebuk Gergaji	6	2.2017	
Sekam Padi	6	2.2500	
Kontrol	6		2.4750
Sig.		.563	1.000

**Kandungan Hidrokarbon**

Analisis kandungan hidrokarbon dilakukan pada awal penelitian dan akhir penelitian untuk mengetahui penurunan kandungan hidrokarbon dalam *oil sludge*. Hasil penelitian kadar hidrokarbon tersebut pada masing-masing *windrow* ditunjukkan pada Gambar 4, 5, 6, 7, dan 8.

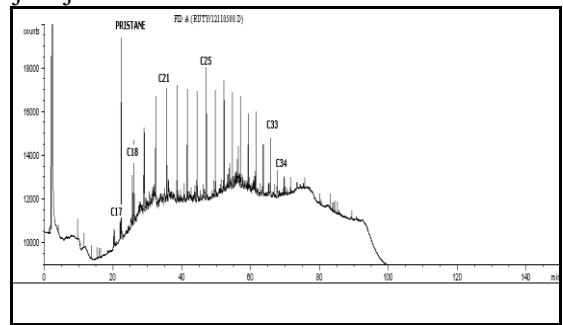


**Gambar 4.** Kandungan Hidrokarbon Awal

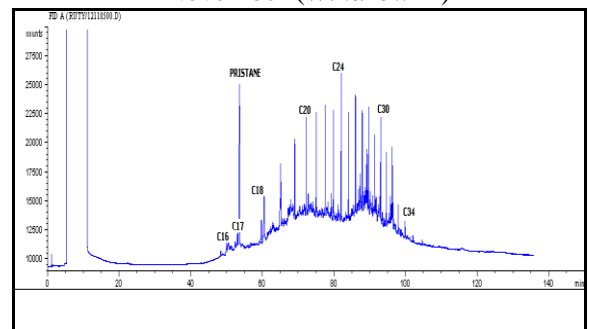
**Mikroba Pada Campuran**

Dalam sistem *composting* jumlah ideal mikroba yang dibutuhkan sebanyak  $10^4$ - $10^7$  atau minimum  $10^3$  CFU/gr tanah (Sulistyowati, 2001). Hasil penelitian menunjukkan jumlah mikroba masih

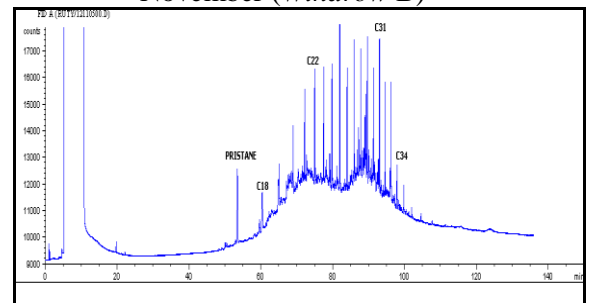
memenuhi persyaratan untuk proses bioremediasi (Tabel 11). Penurunan kadar TPH masih mungkin terjadi jika dilakukan fase maturasi.



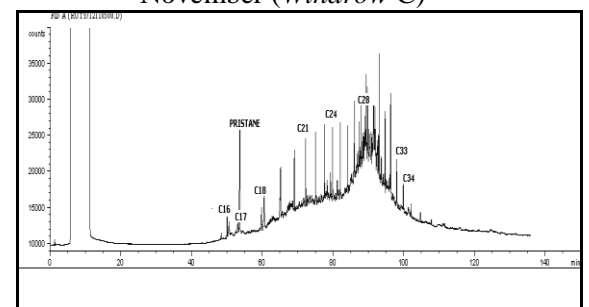
**Gambar 5.** Kandungan Hidrokarbon Tanggal 12 November (*Windrow A*)



**Gambar 6.** Kandungan Hidrokarbon Tanggal 12 November (*Windrow B*)



**Gambar 7.** Kandungan Hidrokarbon Tanggal 12 November (*Windrow C*)



**Gambar 8.** Kandungan Hidrokarbon Tanggal 12 November (*Windrow D*)

**Tabel 11.** Analisis Jumlah Bakteri

No	Kode Sampel	Jumlah Bakteri (CFU)
1	WA	$1,4 \times 10^4$
2	WB	$1,8 \times 10^4$
3	WC	$1,7 \times 10^4$
4	WD	$1,1 \times 10^4$

Kadar TPH semakin berkurang karena mikroba pengurai hidrokarbon semakin banyak, sehingga aktivitasnya pun meningkat (Tchobanoglous, Theisen, dan Vigil, 1993). Penurunan kadar TPH yang besar terjadi pada reaktor dengan kadar nutrisi yang besar (Margesin dan Schinner, 2001). Penurunan kadar TPH bergantung pada jumlah dan aktivitas mikroba pendegradasi hidrokarbon, yang dapat ditunjukkan dengan jumlah nutrisi yang digunakan. Hasil analisis kadar nutrisi pada awal penelitian (8 September) dan setelah 15 hari (23 September) menunjukkan penurunan nitrogen cukup tinggi pada *windrow* B dan C. Hal tersebut menunjukkan peningkatan aktivitas mikroba terbesar pada hari ke-14 dan ke-29, dimana kadar TPH menurun. Pada akhir penelitian jumlah mikroba terbesar ada pada *windrow* B. Selain itu efisiensi penyisihan TPH terbesar juga terdapat pada *windrow* B. Hubungan yang ada tidak dapat diketahui, karena tidak dilakukan analisis nutrisi, sehingga tidak diketahui keterkaitan antara jumlah nutrisi yang digunakan untuk aktivitas mikroba.

Sedangkan pada *windrow* D (tidak menggunakan *bulking agents*), mikroba berjumlah rendah, akibat rendahnya jumlah nutrisi. Meskipun demikian, jumlahnya masih memenuhi kebutuhan proses bioremediasi dengan sistem *composting*. Hal tersebut didukung oleh Sulistyowati (2001) yang menyatakan bahwa secara alamiah mikroba tanah mampu bertahan hidup dalam tanah yang mengandung hidrokarbon, tanpa perlakuan apapun, dan mampu menjalankan perannya dalam menguraikan pencemar meskipun sangat lambat.

#### 4. KESIMPULAN DAN SARAN

Kondisi media selama penelitian sesuai dengan *range* yang dipersyaratkan, yaitu pH mendekati 6-9, kisaran suhu 15-45<sup>0</sup>C, kelembaban 12-30%, dan nutrisi yang menunjukkan penurunan rasio C/N/P setelah 15 hari penelitian (23 September) dibandingkan rasio C/N/P pada awal penelitian (8 September). Hal ini menunjukkan adanya peningkatan aktivitas mikroba. Efisiensi penyisihan TPH dengan *bulking agents* sekam padi, rumput liar, dan serbuk gergaji sebesar 76,85%, 87,05%, 79,43%. Jenis *bulking agent* yang menunjukkan efisiensi penyisihan TPH terbesar adalah rumput liar.

#### DAFTAR PUSTAKA

Anderson, W. C. (1995). **Innovative Remediation Technology (Bioremediation)**. USA: Water

Environment Federation.

Anonim (2004). **BSP IPOC Register**. Kaltim: TOTAL E&P INDONESIA.

Cookson, J. T. (1995). **Bioremediation Engineering**. New York : McGraw-Hill.

Damanhuri, E. (1993/1994). **Pengelolaan Limbah Berbahaya dan Beracun**. Bandung:Teknik Lingkungan-ITB, Bandung.

MENKLH (2003). **Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup No 128 Tahun 2003 Tentang Tata Cara dan Persyaratan Teknis Pengolahan Limbah Minyak Bumi dan Tanah Terkontaminasi Oleh Minyak Bumi Biologis**. Jakarta: MenKLH.

Margesin dan Schinner (2001). **Bioremediation (Natural Attenuation and Biostimulation) of Oil-Diesel-Contaminated Soil in an Alpine Glacier Skiing Area**. <http://aem.asm.org/cgi/content/full/67/7/3127> (Maret 2006)

PERTAMINA (2001). **Pedoman Pengelolaan Limbah Sludge Minyak Pada Kegiatan Operasi Pertamina**. Jakarta: Pertamina.

Sulistyowati, Anis (2001). **Bioremediasi Tanah Terkontaminasi Hidrokarbon di PT. NNT**. Tugas Akhir Teknik Lingkungan, ITS, Surabaya.

Tchobanoglous, G., H. Theisen, dan S.A.Vigil (1993). **Integrated solid waste management. Engineering principles and management issues**. McGraw Hill International Editions, New York.

Tim Perumus Bioremediasi BPMIGAS-KKKS (2003). **Pedoman Tata Cara Pengolahan Limbah Berminyak dan Tanah Terkontaminasi Minyak Bumi Secara Biologis BPMIGAS-KONTRAKTOR KKS**. Kaltim: TOTAL E&P INDONESIA.

Yulindra, E. (2003). **Studi Penyisihan Senyawa Hidrokarbon Lumpur Oli dengan Menggunakan Media Tailing dan Lumpur Sewage Treatment Plant di PT. Freeport Indonesia**. Laporan Penelitian Teknik Lingkungan-ITB, Bandung.