

# BIOREMEDIASI TUMPAHAN MINYAK MENTAH DENGAN METODE BIOSTIMULASI NUTRIEN ORGANIK DI LINGKUNGAN PANTAI SURABAYA TIMUR

Munawar\*, Mukhtasor\*\*, dan Tini Surtiningsih\*\*\*

\* Staf pengajar UPN "Veteran" Jawa Timur, Mahasiswa Pasca Sarjana/S3 Teknik Manajemen Pantai Fakultas Teknik Kelautan ITS

\*\* Staf Pengajar Fakultas Teknologi Kelautan ITS

\*\*\* Staf Pengajar FMIPA Jurusan Biologi UNAIR

## ABSTRACT

*The purpose of this paper was to present effects of nutrients in the bioremediation process of spilled crude oil in a coastal environment. An emphasis is directed at looking at effectiveness of organic-based nutrients in that process using a method of bio-stimulation. An in-situ test was undertaken in a coastal area, located at the East side of Surabaya City, Indonesia, by making multiple trial compartments, with a size of  $0.5 \times 0.5 \text{ m}^2$  each; and the space between the compartments is 0.25 m. At every compartment, one liter of crude oil was spilled. Three days later, it was added with organic-based nutrient on the treatment (0.2; 0.3 and 0.4 kg/kg soil).*

**Key words:** bioremediation, biostimulation, organic nutrient

## PENGANTAR

Tumpahan minyak mentah yang terjadi di perairan, mengakibatkan pencemaran di daerah lingkungan pantai. Hal ini karena daerah tersebut merupakan daerah di tepi laut yang masih mendapat pengaruh keadaan laut seperti pasang surut, angin laut, dan perembesan air laut (Triatmodjo, 1999). Tumpahan minyak mentah yang terbawa bersama arus pasang dapat terpenetrasi dan terakumulasi di dalam tanah (Pezeshki dkk., 2000). Minyak mentah adalah campuran senyawa hidrokarbon yang terbentuk berjuta tahun silam, yang berasal dari fosil tumbuhan, hewan, atau plankton selama jutaan tahun di dalam tanah atau pun di dasar lautan (Wymer, 1972).

Lingkungan Pantai Surabaya Timur merupakan daerah tepi laut yang rawan terkena tumpahan/pencemaran minyak mentah, mengingat daerah tersebut masuk wilayah laut yang banyak dilalui oleh pelayaran lalu-lintas kapal komersial baik lokal maupun internasional serta kapal milik Angkatan Laut Indonesia.

Untuk mengatasi tumpahan minyak mentah, telah ditempuh banyak metode, baik metode fisika, kimia, maupun bioremediasi. Metode fisika memiliki beberapa kelemahan seperti banyaknya tenaga manusia yang dibutuhkan untuk membuang minyak secara manual (Hozumi dkk., 2000), pembakaran polutan yang menyebabkan polusi udara (Gogoi dkk., 2003), atau matinya tumbuh-tumbuhan pesisir akibat aktivitas pengumpulan minyak (Kiesling dkk., 1988; OTA, 1990; Owens dkk., 1993a dalam Pezeshki dkk., 2000). Hal serupa juga terjadi pada metode kimia. Zat-zat

kimia yang digunakan untuk menanggulangi tumpahan minyak sering kali jauh lebih beracun daripada minyak itu sendiri (Burrige dan Shir, 1995 dalam Wrabel dan Peckol, 2000).

Bioremediasi adalah aplikasi dari prinsip-prinsip proses biologi untuk mengolah air tanah, tanah, dan lumpur yang terkontaminasi zat-zat kimia berbahaya (Cookson, 1995). Tujuan akhir bioremediasi adalah memineralisasi kontaminan, yaitu mengubah senyawa kimia berbahaya menjadi kurang berbahaya seperti karbon dioksida atau beberapa gas lain, senyawa anorganik, air, dan materi yang dibutuhkan oleh mikroba pendegradasi (Eweis *et al.*, 1998). Untuk rancangan bioremediasi memerlukan estimasi jumlah zat (termasuk nutrisi) yang harus diberikan ke bioreaktor atau ke bawah-permukaan laut atau ke tanah untuk *in-situ treatment*. Perhitungan ini menjadi dasar bagi penentuan ukuran fasilitas-fasilitas proses, seperti perpipaan, pompa, kontrol emisi, penyimpanan bahan kimia yang digunakan, dan biaya. Jumlah total dan laju pemberian (*rate of delivery*) zat ini diproyeksikan sebagai penerima elektron, pemberi elektron, substrat primer, kontrol pH, dan penambahan nutrisi (Cookson, 1995).

Semua reaksi biologis yang menghasilkan energi merupakan reaksi redoks dalam hal ini oksidasi senyawa organik kontaminan akan membebaskan sejumlah elektron. Senyawa organik ini sering disebut sebagai pemberi elektron (*electron donor*). Oleh karena itu, dalam proses bioremediasi, harus tersedia senyawa yang akan menerima elektron ini (*electron acceptor*) dalam jumlah yang cukup

dan tipe yang sesuai. Beberapa penerima elektron yang lazim dikenal adalah oksigen, nitrat, sulfat, karbon dioksida, dan sejumlah senyawa organik (Cookson, 1995).

Metode bioremediasi merupakan cara penanggulangan tumpahan minyak yang paling aman bagi lingkungan (Prince dkk., 2003). Selain itu, metode ini juga bisa dipadukan dengan metode fisika maupun kimia (Boopathy, 2000). Ada dua pendekatan yang dapat digunakan dalam bioremediasi tumpahan minyak: (1) *bioaugmentasi*, di mana mikroorganisme pengurai ditambahkan untuk melengkapi populasi mikroba yang telah ada, dan (2) *biostimulasi*, di mana pertumbuhan pengurai hidrokarbon asli dirangsang dengan cara menambahkan nutrisi dan/atau mengubah habitat (Venosa dan Zhu, 2003). Meskipun teknik bioremediasi belum terlihat efektif untuk menangani pencemaran minyak pada perairan terbuka, tetapi metode ini efektif untuk membersihkan tumpahan minyak pada lingkungan pantai (Munawar dan Mukhtasor, 2005).

Dalam banyak penelitian lapangan, metode bioaugmentasi terbukti kurang efektif, mengingat kondisi isolasi bakteri yang tidak sama dengan kondisi lapangan. Sebaliknya, banyak penelitian laboratorium maupun lapangan yang menunjukkan keberhasilan biostimulasi (Venosa dkk., 1992; Lee dan Levy, 1987; Tagger dkk., 1983; Simon dkk., 1999 dalam Venosa dan Zhu, 2003). Hanya saja, dalam metode biostimulasi ini, kondisi dan komposisi penambahan nutrisi yang paling optimal masih belum ditemukan. Kebanyakan mereka menyatakan bahwa jenis dan konsentrasi nutrisi optimal sangat bervariasi tergantung properti minyak dan kondisi lingkungan (Venosa dan Zhu, 2003). Mengenai jumlah nutrisi yang harus ditambahkan, misalnya, hanya ada sedikit kesepakatan di antara para peneliti (Head dan Swannel, 1999). Penelitian mengenai jenis nutrisi yang paling tepat untuk ditambahkan pada proses biostimulasi masih belum banyak dilakukan, dan usaha untuk melihat kemungkinan sumber nutrisi dari kompos sejauh ini belum ditemukan dalam literatur. Makalah ini menyajikan hasil studi tentang bioremediasi dengan metode biostimulasi nutrisi organik, khususnya yang bersumber dari kompos. Penelitian ini dalam jangka panjang diharapkan bermanfaat untuk menyediakan alternatif sumber nutrisi untuk bioremediasi tumpahan minyak mentah, yang relatif mudah didapatkan di lapangan.

## BAHAN DAN CARA KERJA

### Bahan Penelitian

Dalam penelitian ini digunakan nutrisi organik *Petroganik* (produk komersial PT X) yang bahan dasarnya dari daun dan kotoran binatang, sebagai sumber makanan mikroba tanah. Minyak mentah yang digunakan adalah minyak mentah (*crude oil*) yang diambil dari sumber minyak mentah Pertamina Cepu Jawa Tengah. Hal ini dilakukan dengan mempertimbangkan peristiwa-peristiwa tumpahan minyak, di mana sebagian besar yang tertumpah adalah minyak mentah.

### Lokasi Penelitian

Tempat penelitian di daerah pantai wilayah Surabaya Timur, penelitian dilaksanakan mulai bulan Maret–Juni 2006.

### Cara Kerja dan Variabel Percobaan

Dalam penelitian ini diberlakukan rancangan acak lengkap. Jika dilakukan sejumlah  $t$  perlakuan sebanyak  $n$  kali untuk setiap perlakuan, maka rancangan acak lengkap membutuhkan alokasi  $nt$  percobaan secara acak kepada  $nt$  satuan percobaan. Dengan melakukan pengacakan, maka alokasi eksperimen maupun urutan eksperimen yang akan dilakukan bisa ditentukan secara acak. Metode statistika mensyaratkan agar observasi (atau galat) terdistribusi secara merata. Pengacakan menjadikan syarat ini terpenuhi (Montgomery, 2001).

Pada penelitian dibuat petak-petak percobaan berukuran  $0,5 \text{ m} \times 0,5 \text{ m}$ , di mana antara satu petak dengan petak yang lain terpisah pada jarak  $0,25 \text{ meter}$  (Gambar 1). Metode penelitian ini merujuk dari penelitian yang dilakukan Delille dkk. (2004). Untuk meneliti pengaruh peningkatan suhu terhadap proses bioremediasi, Delille dkk. (2004) membagi lokasi penelitian ke dalam petak-petak berukuran  $0,75 \text{ m} \times 0,75 \text{ m}$ , dan antara satu petak dengan petak lainnya dipisah dengan jarak  $0,5 \text{ meter}$ . Penelitian ini terdiri atas 19 petak percobaan, yaitu 18 petak perlakuan dan 1 petak kontrol. Variabel bebas pada penelitian ini terdiri atas pemberian berbagai dosis nutrisi organik (0,2; 0,3; dan 0,4 kg/petak tanah) dan perlakuan dibalik dan tidak dibalik, masing-masing perlakuan diulang sebanyak tiga kali. Variabel terikat pada penelitian ini adalah jumlah total



**Gambar 1.** Petak percobaan di lapangan

bakteri tanah (cfu/g tanah), kadar minyak dalam tanah (g/kg tanah), dan bioremediasi minyak (%), pengacakan perlakuan di lapangan dengan cara diundi.

### Pengukuran Respons

Pada masing-masing petak ditumpahkan minyak mentah sebanyak 1 liter, 3 hari kemudian pada masing-masing petak tersebut diberi nutrisi organik dan dibalik atau tidak dibalik sesuai dengan perlakuan penelitian. Pengukuran jumlah total bakteri tanah (cfu/g) dan konsentrasi polutan minyak (kg/kg tanah) dilakukan secara berkala dengan mengambil sampel tanah setiap petak pada minggu ke-2, ke-4, dan minggu ke-6. Pengukuran pada setiap petak secara periodik merupakan respons percobaan yang diteliti. Data yang diperoleh kemudian diuji statistik dengan ANOVA, apabila ada beda nyata dilanjutkan dengan uji BNT (Beda Nyata Terkecil) dan uji Duncan pada taraf 5%.

## HASIL

### Jumlah Total Bakteri dan Kadar Minyak dalam Tanah

Pengaruh penambahan nutrisi organik terhadap jumlah total bakteri dengan perlakuan dibalik dan tidak dibalik dapat dilihat pada Tabel 1 dan Gambar 2 dan 3. Gambar-gambar tersebut menunjukkan bahwa jumlah total bakteri baik perlakuan dibalik maupun tidak dibalik meningkat sampai usia 4 minggu dan menurun pada usia 6 minggu. Secara statistik, peningkatan jumlah total bakteri berbeda nyata pada masing-masing perlakuan ( $\alpha < 0,05$ ; Tabel 1).

### Kadar Minyak dalam Tanah

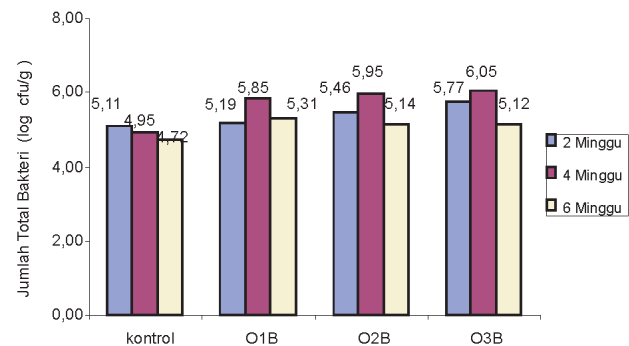
Pengaruh penambahan nutrisi organik terhadap kadar minyak dalam tanah dengan perlakuan dibalik dan tidak dibalik dapat dilihat pada Tabel 2 dan Gambar 4 dan 5. Pada

**Tabel 1.** Pengaruh penambahan nutrisi organik terhadap jumlah total bakteri

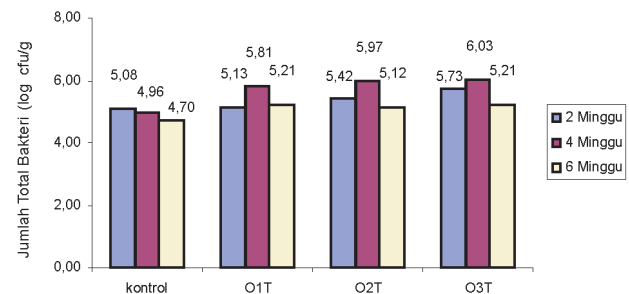
Perlakuan	Jumlah Total Bakteri (cfu/g)		
	2 minggu	4 minggu	6 minggu
kontrol	5,11	4,95	4,72
dibalik			
O1B	5,19 ± 0,07	5,85 ± 0,05	5,24 ± 0,10
O2B	5,46 ± 0,05	5,95 ± 0,03	5,14 ± 0,02
O3B	5,77 ± 0,04	6,05 ± 0,03	5,11 ± 0,10
kontrol tidak	5,08	4,96	4,70
dibalik			
O1T	5,13 ± 0,04	5,81 ± 0,03	5,21 ± 0,07
O2T	5,42 ± 0,06	5,97 ± 0,04	5,12 ± 0,01
O3T	5,73 ± 0,03	6,03 ± 0,04	5,20 ± 0,08

Keterangan:

- O1B = nutrisi organik 0,2 kg/kg tanah, dibalik; O1T= nutrisi organik 0,2 kg/kg tanah, tidak dibalik  
 O2B = nutrisi organik 0,3 kg/kg tanah, dibalik; O2T= nutrisi organik 0,3 kg/kg tanah, tidak dibalik  
 O3B = nutrisi organik 0,4 kg/kg tanah, dibalik; O3T= nutrisi organik 0,4 kg/kg tanah, tidak dibalik



**Gambar 2.** Pengaruh penambahan nutrisi organik terhadap jumlah total bakteri (dibalik)



**Gambar 3.** Pengaruh penambahan nutrisi organik terhadap jumlah total bakteri (tidak dibalik)

gambar tersebut dapat dilihat bahwa konsentrasi minyak dalam tanah bahwa perlakuan dibalik maupun tidak dibalik menurun sampai pada 6 minggu. Secara statistik, penurunan konsentrasi minyak berbeda nyata antara perlakuan dan kontrol ( $\alpha < 0,05$ ).

**Tabel 2.** Pengaruh penambahan nutrisi organik terhadap kadar minyak dalam tanah

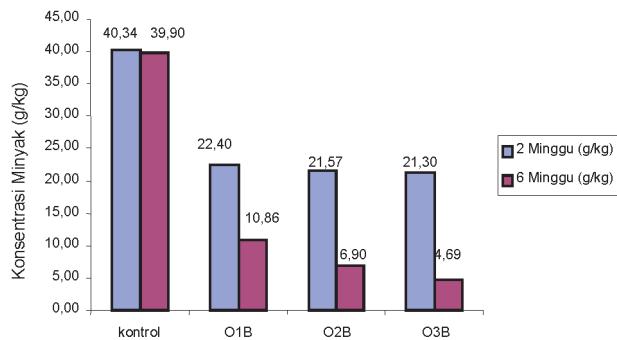
Perlakuan	Konsentrasi Minyak (g/kg)	
	2 minggu	6 minggu
kontrol dibalik	40,34	39,90
O1B	22,4 ± 0,56	9,01 ± 1,62
O2B	21,57 ± 1,58	6,9 ± 0,29
O3B	21,3 ± 0,58	4,69 ± 0,77
kontrol tidak dibalik	40,34	39,90
O1T	26,47 ± 3,6	11,67 ± 0,39
O2T	24,87 ± 0,45	10,55 ± 0,43
O3T	24,03 ± 0,66	10,01 ± 0,46

Keterangan:

- O1B = nutrisi organik 0,2 kg/kg tanah, dibalik;
- O2B = nutrisi organik 0,3 kg/kg tanah, dibalik;
- O3B = nutrisi organik 0,4 kg/kg tanah, dibalik;
- O1T = nutrisi organik 0,2 kg/kg tanah, tidak dibalik;
- O2T = nutrisi organik 0,3 kg/kg tanah, tidak dibalik;
- O3T = nutrisi organik 0,4 kg/kg tanah, tidak dibalik.

**Persentase Penurunan Konsentrasi Minyak**

Pengaruh penambahan nutrisi organik terhadap persentase bioremediasi minyak perlakuan dibalik dan tidak dibalik dapat dilihat pada Tabel 3 dan Gambar 6 dan 7. Data tersebut menunjukkan bahwa persentase penurunan konsentrasi minyak (bioremediasi) baik perlakuan dibalik maupun tidak dibalik meningkat sampai usia 6 minggu. Secara statistik, peningkatan persentase bioremediasi minyak dibalik berbeda nyata pada masing-masing perlakuan ( $\alpha < 0,05$ ), sedangkan yang tidak dibalik tidak berbeda nyata antarperlakuan ( $\alpha > 0,05$ )



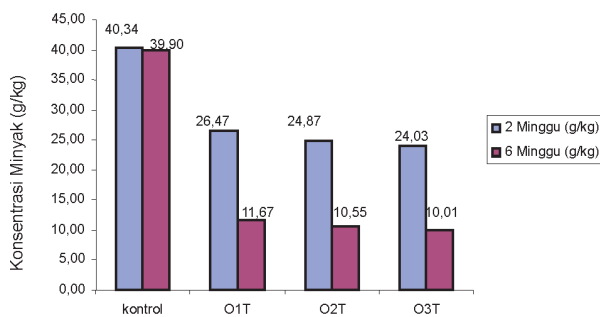
**Gambar 4.** Pengaruh penambahan nutrisi organik terhadap kadar minyak dalam tanah (dibalik)

**Tabel 3.** Pengaruh penambahan nutrisi organik terhadap prosen bioremediasi

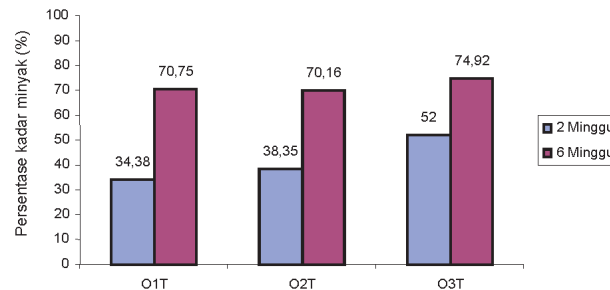
Perlakuan	% Penurunan konsentrasi minyak	
	2 minggu	6 minggu
O1B	43,95 ± 0,46	65,33 ± 8,95
O2B	46,52 ± 3,91	82,44 ± 0,26
O3B	47,20 ± 1,44	88,25 ± 1,93
O1T	34,38 ± 8,91	70,75 ± 0,98
O2T	38,35 ± 1,12	70,16 ± 6,81
O3T	52 ± 19,77	74,92 ± 1,15

Keterangan:

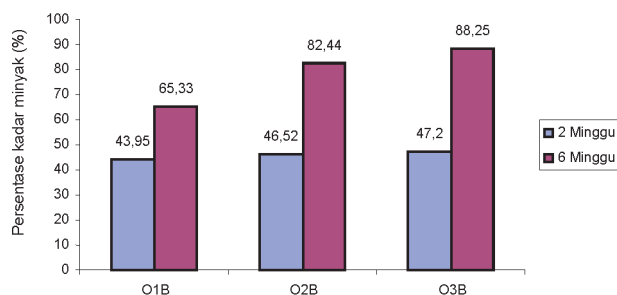
- O1B = nutrisi organik 0,2 kg/kg tanah, dibalik;
- O2B = nutrisi organik 0,3 kg/kg tanah, dibalik;
- O3B = nutrisi organik 0,4 kg/kg tanah, dibalik;
- O1T = nutrisi organik 0,2 kg/kg tanah, tidak dibalik;
- O2T = nutrisi organik 0,3 kg/kg tanah, tidak dibalik;
- O3T = nutrisi organik 0,4 kg/kg tanah, tidak dibalik.



**Gambar 5.** Pengaruh penambahan nutrisi organik terhadap kadar minyak dalam tanah (tidak dibalik)



**Gambar 6.** Persentase penurunan konsentrasi minyak dengan perlakuan tidak dibalik



**Gambar 7.** Persentase penurunan konsentrasi minyak dengan perlakuan dibalik

## PEMBAHASAN

Dari hasil penelitian terlihat bahwa penambahan nutrisi organik terhadap jumlah total bakteri baik perlakuan dibalik maupun tidak dibalik meningkat sampai usia 4 minggu dan menurun pada usia 6 minggu. Dengan analisis statistik jumlah total bakteri berbeda nyata pada masing-masing perlakuan, sementara terlihat pada Tabel 1, penambahan nutrisi 0,4 kg/kg-tanah memperlihatkan kenaikan jumlah total bakteri cukup tinggi dibandingkan dengan penambahan nutrisi 0,2 kg/kg-tanah dan 0,3 kg/kg-tanah. Begitu juga halnya dengan perlakuan tidak dibalik, di mana penambahan nutrisi 0,4 kg/kg-tanah memperlihatkan kenaikan jumlah total bakteri cukup tinggi dibandingkan dengan penambahan nutrisi 0,2 kg/kg-tanah dan 0,3 kg/kg-tanah. Ini menunjukkan bahwa nutrisi organik mampu menstimulasi pertumbuhan bakteri tanah yang terkena tumpahan minyak mentah (*crude oil*). Hal ini terjadi karena pada nutrisi organik unsur-unsur penting yang dibutuhkan mikroba seperti nitrogen, fosfor, dan kalium cukup tersedia untuk mendukung pertumbuhan dan mendegradasi minyak di tanah. Di samping unsur tersebut nutrisi organik juga banyak mengandung ion-ion logam Fe, Cu, Mn, dan Zn yang dapat berfungsi sebagai kofaktor. Menurut Cookson (1995), kofaktor merupakan kombinasi dari senyawa protein dan non-protein yang dapat memberikan aktivitas katalitik pada enzim yang diproduksi oleh mikroba. Kofaktor ini dapat berupa senyawa organik dan ion-ion logam seperti  $\text{Fe}^{2+}$ ,  $\text{Fe}^{3+}$ ,  $\text{Co}^{2+}$ ,  $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Mn}^{2+}$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ , dan  $\text{Zn}^{2+}$ .

Dari Tabel 2 terlihat bahwa penambahan nutrisi organik terhadap konsentrasi atau kadar minyak dalam tanah pada perlakuan dibalik maupun tidak dibalik terjadi penurunan, penurunan terlihat sangat signifikan antara minggu ke-2 dan minggu ke-6. Dengan analisis statistik penurunan konsentrasi beda nyata pada masing-masing perlakuan, dan terlihat pula penambahan nutrisi 0,4 kg/kg-tanah memperlihatkan penurunan konsentrasi

minyak dalam tanah sangat tajam bila dibandingkan dengan penambahan nutrisi 0,2 kg/kg-tanah dan 0,3 kg/kg-tanah. Namun apabila dibandingkan antara perlakuan dibalik dan tidak dibalik terjadi perbedaan sangat mencolok, di mana perlakuan tanah dibalik penurunan konsentrasi minyak mencapai 4,69 g/kg-tanah untuk penambahan nutrisi organik 0,4 kg/kg-tanah, sedangkan untuk perlakuan tidak dibalik penurunan konsentrasi minyak mencapai 10,01 g/kg-tanah untuk penambahan nutrisi organik 0,4 kg/kg-tanah seperti terlihat pada Gambar 4 dan 5. Hal ini disebabkan karena pada mikroba dengan perlakuan tanah dibalik, transfer oksigen pada mikroba lebih banyak. Kebutuhan oksigen sangat bergantung pada jenis dan jumlah sel mikroba serta kandungan senyawa dalam polutan, oksigen dibutuhkan oleh bakteri sebagai akseptor elektron dan untuk menghasilkan energi dan reaksi enzimatik tertentu (Shuher dan Kargi, 1992).

Pada Tabel 3 tampak bahwa pada perlakuan dibalik dengan penambahan nutrisi organik 0,4 kg/kg-tanah pada waktu 6 minggu mencapai 88,25% bioremediasi, sementara pada perlakuan tidak dibalik dengan penambahan nutrisi organik 0,4 kg/kg-tanah pada waktu 6 minggu mencapai 74,92% bioremediasi. Menurut Rehm dan Reed (2000), perbandingan karbon dengan nitrogen C/N yang dibutuhkan untuk bioremediasi petroleum hidrokarbon berkisar antara 10 : 1–100 : 1.

Sementara itu, Wrabel dan Peckol (2000) melakukan eksperimen laboratorium untuk mempelajari efektivitas pemakaian nutrisi (N dan P) pada populasi mikroba laut asli sebagai teknik bioremediasi untuk merespons tumpahan minyak di sepanjang pantai Atlantik Utara sebelah barat yang beriklim sedang. Di mana pemakaian nutrisi (N dan P) sebagai teknik bioremediasi akan mengatasi pengaruh racun minyak pada alga coklat *F. vesiculosus* tanpa mengakibatkan peningkatan pertumbuhan makroalga. Analisis sampel dengan menggunakan kromatografi gas menunjukkan adanya penguraian minyak yang lebih besar oleh mikroba pada lingkungan yang diperkaya nutrisi bila dibandingkan dengan lingkungan yang tidak diperkaya nutrisi.

Prince dkk. (2003) menunjukkan bahwa pemakaian nutrisi larut terbukti menjadi cara yang efektif dan ramah lingkungan dalam menstimulasi biodegradasi minyak pada Pantai Arktik (pantai di daerah kutub utara). Pemakaian nutrisi organik akan diikuti oleh peningkatan konsumsi oksigen, evolusi karbon dioksida, biomassa mikroba, dan meningkatkan secara signifikan biodegradasi minyak.

Pelletier dkk. (2004), yang melakukan penelitian bioremediasi minyak mentah pada sedimen intertidal sub-Antartika, menunjukkan bahwa pupuk kompos tulang ikan yang dilengkapi dengan urea, fosfor anorganik, dan

surfaktan lipidik terbukti mampu menguraikan hidrokarbon minyak bumi secara efektif dalam waktu tiga bulan. Bahkan campuran tersebut jauh lebih efektif dari pada INIPOL, suatu pupuk urea. Dari dua penelitian ini (Barahona dkk., 2004 dan Pelletier dkk., 2004) membuktikan bahwa nutrisi organik terbukti efektif dalam menguraikan minyak baik di sedimen laut maupun di daratan.

Penambahan nutrisi organik pada bioremediasi tumpahan minyak mentah mampu menstimulasi pertumbuhan mikroba tanah. Dalam waktu empat minggu, bioremediasi dengan teknik ini mampu menurunkan konsentrasi minyak sampai dengan 88,25% dari konsentrasi awal. Untuk dua perlakuan yang beda yaitu dibalik dan tidak dibalik terlihat beda penurunan konsentrasi, di mana dengan perlakuan tidak dibalik memperlihatkan hasil penurunan konsentrasi 74,92%, sehingga perlakuan dengan pembalikan tanah menunjukkan hasil yang baik. Secara umum, hasil penelitian ini menunjukkan bahwa bahan organik memberikan indikasi yang baik untuk digunakan sebagai sumber nutrisi pada proses bioremediasi tumpahan minyak dengan metode biostimulasi.

## KEPUSTAKAAN

- Boopathy R, 2000. Factors Limiting Bioremediation Technologies. *Bioresource Technology* 74: 63–67.
- Barahona LM, Vázquez RR, Velasco MH, Jarquín CV, Pérez OZ, Cantú AM, Albores A, 2004. Diesel Removal from Contaminated Soils by Biostimulation and Supplementation with Crop Residues. *Applied Soil Ecology* 27: 165–175.
- Cookson, Jr. John T, 1995. Bioremediation Engineering design and Application, McGraw-Hill, Inc., New York.
- Delille Daniel, Frederic Coulon, Emilien Pelletier, 2004. Effects of Temperature Warming During a Bioremediation Study of Natural and Nutrient-amended Hydrocarbon-Contaminated Sub-Antarctic Soil, *Cold Regions Sciens and Technology* 40: 61–70.
- Eweis JB, Ergas SJ, Chang EDDPY, Schoroeder, Ed., 1998. *Bioremediation Principles*, McGraw-Hill, Inc., New York.
- Gogoi BK, Dutta NN, Goswami P, Mohan TRK, 2003. A Case Study of Bioremediation of Petroleum Hydrocarbon Contaminated Soil at a Crude Oil Spill Site. *Advances in Environmental Research*, 7: 767–782.
- Hozumi T, Tsutsumi H, Kono M, 2000. Bioremediation on the Shore after an Oil Spill from the Nakhodka in the Sea of Japan. I. Chemistry and Characteristics of Heavy Oil Loaded on the Nakhodka and Biodegradation Tests by a Bioremediation agent with Microbiological Cultures in the Laboratory. *Marine Pollution Bulletin*, 40(4): 308–314.
- Head, IM, dan Swannel RPJ, 1999. Bioremediation of Petroleum Hydrocarbon Contaminants in Marine Habitats. *Current Opinion in Biotechnology* 10: 234–239.
- Munawar dan Mukhtasor, 2005. Perkembangan Teknologi Bioremediasi untuk Penanggulangan Tumpahan Minyak di Wilayah Pesisir, Makalah Pertemuan Ilmiah Tahunan II ISOI.
- Montgomery DC, 2001. Design and Analysis of Experiment 5<sup>ed</sup>, John Willey and Sons, New York.
- Pelletier E, Delille D, Delille B, 2004. Crude Oil Bioremediation in sub-Antarctic Intertidal Sediments: Chemistry and Toxicity of Oiled Residues. *Marine Environmental Research* 57: 311–327.
- Pezeshki SR, Hester MW, Lin Q, Nyman JA, 2000. The Effects of Oil Spill and Clean-up on Dominant US Gulf Coast Marsh Macrophytes: a Review. *Environmental Pollution* 108: 129–139.
- Prince RC, Bare RC, Garret RM, Grossman MJ, Haith CE, Keim LG, Lee K, Holtom GJ, Lambert P, Sergy GA, Owens EH, Guenette CC, 2003. Bioremediation of Stranded Oil on an Arctic Shoreline. *Spill Science & Technology Bulletin*, 8(3): 303–312.
- Shuher ML dan Kargi F, 1992. *Bioprocess Engineering*, Printice Hall PTR, New Jersey.
- Triatmodjo B, 1999. *Teknik Pantai*. Yogyakarta, Beta Offset.
- Venosa AD dan Zhu X, 2003. Biodegradation of Crude Oil Contaminating Marine Shorelines and Freshwater Wetlands. *Spill Science & Technology Bulletin*, 8(2): 163–178.
- Wrabel ML, Peckol P, 2000. Effects of Bioremediation on Toxicity and Chemical Composition of No. 2 Fuel Oil: Growth Responses of the Brown Alga *Fucus vesiculosus*. *Marine Pollution Bulletin*, 40(2): 135–1.
- Wymer N, 1972. *Minyak Bumi*, diterjemahkan oleh Sudjoko. Penerbit Angkasa, Bandung.
- Venosa AD, Zhu X, 2003. Biodegradation of Crude Oil Contaminating Marine Shorelines and Freshwater wetlands. *Spill Science & Technology Bulletin*, 8(2): 163–178.

Reviewer: **Dr. Ni'matuzahroh**

## PETUNJUK PENULISAN MAKALAH

---

Berkala menerima sumbangan karya ilmiah dalam bentuk makalah lengkap dan komunikasi ringkas. Makalah lengkap adalah suatu karya tentang laporan hasil penelitian yang belum pernah dipublikasikan, jumlah halaman dibatasi sebanyak-banyaknya 30 halaman naskah termasuk tabel dan gambar. Bila naskah yang dikirim terdiri dari 10 halaman atau kurang maka akan dimasukkan dalam kelompok komunikasi ringkas. Bila lebih dari 30 halaman akan dikenai biaya tambahan.

### A. PENYERAHAN MAKALAH

Makalah dapat diserahkan langsung atau dikirimkan melalui pos atau usaha ekspedisi lain yang dianggap aman kepada redaksi. Naskah yang diserahkan tiga bendel lengkap (termasuk gambar dan tabel). Pada surat pengantar naskah hendaknya juga diterangkan bidang keilmuan isi makalah, hal ini diperlukan untuk memudahkan pemilihan editor.

### B. PERSYARATAN

Naskah ditulis dalam bahasa Indonesia baku dan bahasa Inggris. Semua naskah akan diedit oleh tim editor yang ditunjuk oleh redaksi. Penggunaan data atau gambar yang pernah dipublikasikan merupakan tanggung jawab penulis, dan bukti tersebut harus dikirimkan bersama naskah (cukup foto copynya).

Cara penulisan nama ilmiah harus memperhatikan kaidah atau peraturan yang berlaku. Istilah dan nama yang berasal dari bahasa selain yang digunakan dalam naskah harus dalam bentuk *italic* atau digaris bawah (underline).

### C. BENTUK NASKAH

Naskah harus diketik dua spasi pada satu sisi (tidak bolak-balik), kertas berukuran A4 putih dengan margin (dari semua tepi) 2,5 cm. Judul ditulis di tengah halaman. Setiap halaman harus diberi nomor. Penggunaan catatan kaki (*footnote*) dalam naskah harus dihindari.

### D. ORGANISASI NASKAH

#### Judul

Judul harus ringkas dan jelas. Diusahakan tidak lebih dari 20 kata. Di bawah judul harus tertulis nama penulis (atau para penulis), alamat pos penulis untuk korespondensi. Bila para penulis memiliki alamat yang berbeda, maka harus diberi tanda (misal dengan bintang 1 atau 2) dan masing-masing tanda diberi nama instansi atau universitasnya.

#### Abstrak (*Abstract*)

Berisi informasi ringkas alasan dan tujuan percobaan atau penelitian, bahan dan cara kerja serta pernyataan hasilnya, ditulis dalam bahasa Inggris (400 kata). Kata kunci (*key word*) ditulis setelah abstrak berjarak tiga spasi dari bagian akhir abstrak.

#### Pengantar (*Introduction*)

Berisi penjelasan kepada pembaca tentang latar belakang percobaan atau penelitian ini, dan informasi yang cukup jelas mengapa dikerjakan (atau diulangi bila dulu pernah dilakukan hal yang serupa). Studi pustaka dari publikasi terdahulu harus diusahakan jangan terlalu panjang.

### Bahan dan cara kerja (*Materials and Methods*)

Berisi informasi yang lengkap kepada pembaca bila ingin melakukan hal yang serupa. Bahan dijelaskan asalnya, kuantitas, kualitas serta galur atau varietasnya (bila ada), cara kerja dan analisa data harus ditulis secara jelas dan ringkas, modifikasi dan cara kerja yang pernah dipublikasikan cukup menyebutkan sumbernya dan menjelaskan bagian yang dimodifikasi. Bila menggunakan uji statistik, cukup ditulis metodenya (RCBD atau Faktorial), variabelnya dari referensinya.

### Hasil (*Results*)

Berisi hasil penelitian atau percobaan yang dikemukakan dalam bentuk tabel atau gambar dengan keterangan dan tanpa pembahasan. Hasil uji statistik dapat ditulis dalam bentuk tabel untuk menunjukkan hasil yang *significance* dan tidak bila dianggap perlu dicantumkan juga nilai uji statistiknya (nilai F test, atau chi square atau lainnya).

### Pembahasan (*Discussion*)

**Pembahasan bukanlah penulisan ulang dari hasil.** Pembahasan harus berisi pernyataan ringkas dan penting dari penemuan sebagai hasil penelitian atau percobaan, suatu pembahasan tentang validitas hasil pengamatan, pembahasan tentang hubungannya dengan hasil penelitian yang pernah dipublikasikan dan pembahasan tentang hasil nyata dan karya tersebut yang mengarah pada pengambilan kesimpulan.

### Kepustakaan (*References*)

Pengutipan pustaka dalam naskah hanya ditulis penulis dan tahunnya saja, misal:

Hasil yang sama pernah dilaporkan oleh Salamun dkk. (1991) dan Darmanto (1992).

Fenomena yang sama juga terdapat paa Crustacea lain (Fidhiani, 1990a, 1990b, Ikeda, 1992).

Daftar pustaka ditulis menurut abjad dengan nama keluarga didahulukan dan ditulis lengkap sedang nama diri ditulis singkat (ditulis huruf pertamanya saja), bila nama keluarga tidak diketahui maka kata terakhir dari nama tersebut dianggap nama keluarga, contoh:

Bagnara JT, and Fernandez PJ, 1993. Hormonal Influences on the development of Amphibian Pigmentation patterns. *Zoological Science* 10: 733–748. **Keterangan:** 10 nomor volume Journal, 733–748 nomor halaman. Judul majalah ditulis *italic* atau garis bawah.

Brown TA, 1993. Genetics a Molecular Approach, 2<sup>nd</sup> ed. Chapman & Hall, London, 270, 302–303.

**Keterangan:** 270, 302–303 adalah nomor halaman tempat pernyataan dikutip.

Templeton AR, 1989. The Meaning of Species and Speciation; A Genetic Perspective dalam Otte D, dan Endler, JA. (Ed.) *Speciation and its Conseuences*. Sinauer Associates, Inc., Sunderland. 1–27. **Keterangan:** 1–27 adalah halaman makalah yang dikutip dalam buku. Judul buku ditulis *Italic* atau garis bawah.

Bila penulis lebih dari dua orang maka kata penghubung "dan" hanya dipakai di antara dua penulis terakhir.