

## Konsentrasi *Sludge* Minyak Bumi dalam Proses Bioremediasi Memanfaatkan Bakteri Indigen dan Lamtoro Gung

*Sludge Oil Concentration in Bioremediation Process by Using Indigen Bacteria  
and Lamtoro Gung*

Arief Alghifari<sup>\*)1,2</sup>, Sri Pertiwi Estuningsih<sup>2</sup>, dan Nina Tanzerina<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Mahasiswa Program Ilmu Lingkungan Magister Pascasarjana Universitas Sriwijaya

<sup>2</sup>Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Sriwijaya

<sup>\*)</sup>Penulis untuk korespondensi: [arief.alghifari88@gmail.com](mailto:arief.alghifari88@gmail.com)

### ABSTRACT

This research aimed to determine synergies between bacteria indigen with lamtoro in bioremediation processes at various concentrations of sludge through the measurement of variables, and the number of bacteria, impairment of Total Petroleum Hydrocarbons (TPH), and weight of lamtoro gung. Experimental design used was Complete Randomized Design (CRD) with 5 treatments and 5 replications, increase the concentration sludge treatment is control (0%), 2.5%, 5%, 7.5%, and 10% of sludge. The study found that given sludge concentration increases causing the higher number of bacterial populations. Sludge concentration decreased significantly affect TPH values and highest TPH values decrease at 7,5% concentration of sludge. Sludge concentration significantly affect the wet weight and given treatment sludge, Lamtoro wet weight decreased at the end of the study.

Keywords: Bacteria indigen, bioremediation, *Leucaena leucocephala*, sludge concentration

### ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan menentukan berbagai konsentrasi *sludge* terhadap proses bioremediasi yang memanfaatkan bakteri indigen dan lamtoro melalui pengukuran variabel pengukuran perhitungan jumlah bakteri, penurunan nilai Total Petroleum Hidrokarbon (TPH), dan berat basah lamtoro gung. Rancangan percobaan yang digunakan adalah Rancangan Acak Lengkap (RAL) dengan jumlah 5 perlakuan penambahan konsentrasi *sludge* yaitu kontrol (0%); 2,5%; 5,0%; 7,5% dan 10% *sludge* diulang 5 kali. Hasil penelitian didapatkan bahwa konsentrasi *sludge* yang diberikan semakin meningkat menyebabkan jumlah populasi bakteri semakin tinggi. Perlakuan pemberian konsentrasi *sludge* berpengaruh nyata terhadap penurunan nilai TPH dan penurunan nilai TPH tertinggi didapatkan pada konsentrasi *sludge* 7,5%. Konsentrasi *sludge* berpengaruh nyata terhadap selisih berat basah Lamtoro dan perlakuan yang diberi *sludge*, tanaman Lamtoro mengalami penurunan berat basah pada akhir penelitian.

Kata kunci: Bakteri indigen, bioremediasi, konsentrasi *sludge*, *Leucaena leucocephala*

### PENDAHULUAN

Industri minyak saat ini merupakan industri yang mengalami perkembangan sangat pesat. Kebutuhan dan permintaan yang tinggi terhadap minyak bumi secara tidak langsung meningkatkan produksi minyak mentah. (Gunalan 1996). Pesatnya perkembangan industri minyak bumi selain memberikan dampak positif dapat juga mengakibatkan dampak negatif yaitu limbahnya dapat mencemari lingkungan (Haris 2003 dalam Hafiludin 2011).

Limbah minyak bumi yang mencemari tanah dapat merusak lingkungan, mengganggu kehidupan makhluk hidup lain dan menimbulkan penyakit (Estuningsih *et al.* 2012). Lebih dari itu tanah yang terkontaminasi limbah minyak dikategorikan sebagai limbah bahan berbahaya dan beracun (B3) sesuai dengan Kepmen Lingkungan Hidup No.128 Tahun 2008. Oleh karena itu perlu dilakukan pengelolaan dan pengolahan tanah yang terkontaminasi minyak (Budianto 2008).

Mengatasi pencemaran minyak bumi dengan menggunakan teknologi atau metode pemulihan secara konvensional (baik secara kimia dan fisika) merupakan solusi yang kurang tepat karena menurut Ghost dan Singh (2005) yang menyatakan bahwa teknologi secara konvensional membutuhkan banyak biaya serta menurunkan kesuburan tanah, menimbulkan dampak negatif pada ekosistem. Oleh karena itu, perlu dilakukan solusi yang lebih tepat untuk mengatasi pencemaran minyak bumi pada tanah secara biologis dapat dilakukan dengan bioremediasi (Nugroho 2006 dalam Handrianto *et al.* 2012). Hal ini sesuai juga dengan pernyataan Akbar dan Yani (2009) bahwa bioremediasi merupakan cara yang efektif dan efisien dalam degradasi suatu senyawa karena proses ini tidak meninggalkan residu, lebih aman dan tidak merusak lingkungan. Ditinjau dari segi pembiayaan dan kelestarian lingkungan, bioremediasi lebih murah dan berwawasan lingkungan dibandingkan dengan secara fisika dan kimia (Harayama 1995 dalam Nugroho 2006).

Berdasarkan uraian diatas, penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh berbagai konsentrasi *sludge* minyak bumi terhadap proses bioremediasi yang memanfaatkan bakteri indigen dan Lamtoro gung melalui penghitungan jumlah bakteri, penurunan nilai total petroleum hidrokarbon (TPH) dan berat basah Lamtoro gung. Dari hasil penelitian ini diharapkan dapat digunakan untuk meningkatkan proses bioremediasi limbah minyak bumi yang memanfaatkan bakteri indigen dengan Lamtoro gung pada skala yang lebih besar.

## BAHAN DAN METODE

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan September sampai November 2011 yang bertempat di Area Jurusan Biologi dan Laboratorium Mikrobiologi Jurusan Biologi Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Sriwijaya, Inderalaya. Penelitian ini menggunakan metode

rancangan acak lengkap dengan jumlah perlakuan 5 dan masing-masing perlakuan diulang 5 ulangan. Alat-alat yang digunakan pada penelitian ini yaitu alat destilasi, alat sokhletasi, aluminium foil, autoklaf, batang pengaduk, bunsen, cawan Petri, *colony counter*, desikator, ember besar 24 buah (diameter 30 cm), erlenmeyer, gelas beker, gelas ukur, hot plate, *incubator*, jarum ose, kamera digital, kapas, karet, kertas label, kertas saring, labu didih, labu ukur, *magnetic stirrer*, oven, penangas air, pengaduk kayu, pH meter, pipet serologis, pipet tetes, *sentrifuge*, *shaker*, timbangan analitik, dan tabung reaksi. Bahan-bahan yang diperlukan yaitu alkohol 70%, aquades, suspensi bakteri indigen (*Bacillus megaterium*, *Pseudomonas pseudomalei*, *Pseudomonas pseudocaligenes*, *Micrococcus luteus*) hasil isolasi limbah minyak bumi dari PT Pertamina EP.Limau, limbah minyak bumi, kloroform, n-heksana, serbuk kayu, *Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit., tanah, serta pupuk NPK (200 g), TSP (20 g), dan KCL (0,2 g).

Pengambilan sampel limbah minyak bumi dengan metode *Purposive Sampling* di *stok file* (penampungan limbah minyak) PT Pertamina EP. Limau (Prabumulih, Sumatera Selatan). Sampel diambil dari beberapa titik kedalaman pada area penampungan limbah minyak bumi. Limbah minyak bumi dihilangkan kotorannya dan dipisahkan airnya. Limbah minyak bumi inilah yang digunakan untuk penentuan TPH awal dan juga digunakan untuk 25 unit percobaan. Pembuatan medium Zobell dengan komposisi medium Zobell, masing-masing bahan ditimbang. Semua bahan dimasukkan ke dalam Erlenmeyer dan dilarutkan dengan menambahkan 1 L akuades lalu ditutup dengan dengan aluminium foil, dan dididihkan dengan *hot plate* dengan menggunakan *stirrer* agar semuanya larut, selanjutnya diisikan pada tabung reaksi, disumbat mulut tabung reaksi dengan kapas, dan disterilkan dalam autoklaf (tekanan 15 lbs dengan suhu 121 °C).

Setelah sterilisasi selesai, tabung reaksi tersebut diletakkan miring hampir horizontal, dan dibiarkan dingin sampai mengental atau beku (Modifikasi Rustamsjah 2001).

Bibit Lamtoro (*Leucaena leucocephala* (Lam.) De Wit) diperoleh dengan penyemaian, berasal dari benih yang diambil langsung dari alam. Bibit Lamtoro yang digunakan pada fase vegetative dan berumur sekitar 3 bulan.

Bioreaktor disiapkan yang memiliki berat total sebesar  $\pm 10$  kg, bahan-bahan yang telah disiapkan dengan komposisi sebagai berikut: tanah (berat tanah disesuaikan dengan berat konsentrasi *sludge* limbah minyak bumi), pupuk NPK (200 g), TSP (20 g), dan KCL (0,2 g) serta *bulking agent* berupa serbuk kayu sebanyak 1 kg (10%). Kemudian diaduk hingga homogen. Setelah semuanya homogen, *sludge* limbah minyak bumi yang telah disiapkan sesuai dengan perlakuan dimasukkan dan diaduk hingga homogen, setelah semuanya homogen bioreaktor dimasukkan kedalam baskom. Masing-masing bioreaktor yang berjumlah 25 baskom diletakkan di dalam rumah kaca. Bioreaktor setelah selesai dibuat selanjutnya inokulasikan starter yang berisi bakteri indigen (*Bacillus megaterium*, *Pseudomonas pseudomalei*, *Pseudomonas pseudocaligenes*, *Micrococcus luteus*). Starter sebelum diinokulasikan dihitung terlebih dahulu jumlah sel bakteri dengan jumlah minimal  $10^6$  cfu/mL kultur. Cara pembuatan *starter* kultur campuran bakteri indigen, dibuat sebanyak 12,5 L medium zobel cair. Selanjutnya, medium dimasak dan disterilkan, medium zobell cair yang telah steril dimasukkan ke dalam derigen bersih yang telah dipasang aerator. Diinokulasikan bakteri sesuai dengan waktu generasinya, bakteri *Bacillus megaterium* terlebih dahulu yang memiliki waktu generasi yang paling lama yaitu 12 jam, Selanjutnya setelah 3 jam diinokulasikan bakteri *Pseudomonas pseudomalei* (waktu generasi 9 jam), bakteri *Mikrococcus luteus* diinokulasikan 3 jam kemudian (waktu

generasi 6 jam) dan 3 jam selanjutnya diinokulasikan bakteri *Pseudomonas pseudocaligenes* (waktu generasi terpendek 3 jam). Starter campuran diinokulasikan ke dalam setiap unit bioreaktor sebanyak 0,5 L (5%), kemudian setiap unit bioreaktor dilakukan pengadukan. Kelembaban dijaga sekitar 40% dengan melakukan penyiraman setiap hari serta kondisi pH dipantau setiap hari menggunakan *soil tester*. Selanjutnya Bioreaktor diinkubasikan selama 4 minggu. Setelah dilakukan inkubasi bioreaktor selama 4 minggu ditanam (Yudono 2011), tumbuhan *Leucaena leucocephala* pada fase vegetatif, pemeliharaan dilakukan selama 1 bulan. Pengukuran TPH dilakukan dengan metode Gravimetri. Variabel pengamatan yang diukur yaitu jumlah populasi bakteri, penurunan nilai TPH, berat basah *Leucaena leucocephala* yang diukur pada akhir penelitian. Analisis data Data penurunan TPH dan berat basah lamtoro dianalisis varians, jika terdapat perbedaan yang nyata dilakukan uji lanjut BNT pada taraf  $\alpha = 0,05$  (Hanafiah 2001).

### Analisis Data

Data penghitungan jumlah Bakteri disajikan dalam bentuk tabel dan dideskripsikan. Program untuk membantu menghitung yaitu Statistik 6.0.

## HASIL

### Jumlah Populasi Bakteri

Perlakuan C0 (0%) pada minggu ke-4 memiliki jumlah populasi bakteri paling besar dan pada minggu ke-4 sampai minggu ke-6 mengalami peningkatan jumlah populasi bakteri lebih tinggi dibandingkan dengan perlakuan lainnya. Tabel 1 dapat diamati juga bahwa perlakuan C0 (0%) jumlah populasi bakteri mengalami penurunan pada minggu ke-4 sampai minggu ke-8 (Tabel 1).

Jumlah Populasi bakteri pada perlakuan C1 (2,5%) dan C2 (5%) dari minggu ke-4 sampai minggu ke-8 mengalami peningkatan relatif hampir sama antara keduanya dan mengalami peningkatan jumlah populasi bakteri yang

lebih rendah jika dibandingkan dengan perlakuan C3 dan C4. Perlakuan C3 peningkatan jumlah populasi bakteri lebih tinggi dibandingkan dengan perlakuan C1 dan C2. Penambahan sludge paling tinggi (10%) ini jumlah populasi bakteri pada minggu ke-4 cenderung lebih rendah.

Tabel 1. Pengaruh berbagai konsentrasi *sludge* terhadap rata-rata jumlah populasi bakteri

Perlakuan (konsentrasi <i>sludge</i> )	Jumlah Populasi bakteri (cfu/gram)		
	Minggu IV	Minggu VI	Minggu VIII
C0 (0%)	3,39 x 10 <sup>7</sup>	7,65 x 10 <sup>7</sup>	3,76 x 10 <sup>7</sup>
C1 (2,5%)	1,42 x 10 <sup>7</sup>	2,15 x 10 <sup>7</sup>	3,51 x 10 <sup>7</sup>
C2 (5%)	2,21 x 10 <sup>7</sup>	2,70 x 10 <sup>7</sup>	3,57 x 10 <sup>7</sup>
C3 (7,5%)	1,92 x 10 <sup>7</sup>	4,85 x 10 <sup>7</sup>	4,88 x 10 <sup>7</sup>
C4 (10%)	1,75 x 10 <sup>7</sup>	3,92 x 10 <sup>7</sup>	5,62 x 10 <sup>7</sup>

### Penurunan Nilai Total Petroleum Hidrokarbon (TPH)

Berdasarkan hasil analisis varian (ANOVA) pengaruh perlakuan berbagai konsentrasi *sludge* berpengaruh nyata terhadap penurunan nilai TPH (F hitung 3,53 > F Tabel 2,87. Hasil uji lanjut DNMRT 5% pengaruh berbagai konsentrasi terhadap persentase degradasi TPH yang disajikan dalam Tabel 2.

Tabel 2. Pengaruh berbagai konsentrasi *sludge* terhadap penurunan nilai TPH pada akhir penelitian

Perlakuan	Nilai penurunan total petroleum hidrokarbon (TPH) (%)
C0 (0%)	0 <sup>a</sup>
C1 (2,5%)	1,04 <sup>b</sup>
C2 (5%)	1,17 <sup>b</sup>
C3 (7,5%)	1,62 <sup>b</sup>
C4 (10%)	1,41 <sup>b</sup>

Keterangan: Angka-angka yang diikuti huruf yang sama menunjukkan berbeda tidak nyata menurut DNMRT 5%.

Tabel 2 menunjukkan bahwa pada perlakuan C0 (0%) didapatkan hasil yang berbeda nyata dibandingkan dengan perlakuan lainnya. Perlakuan C1 (2,5%) dan C2 (5%) didapatkan bahwa nilai penurunan TPH lebih rendah jika

dibandingkan dengan Perlakuan C3 (7,5%) dan C4 (10%). Nilai TPH yang mengalami penurunan paling tinggi dibandingkan dengan perlakuan lainnya yaitu pada perlakuan C3 (7,5%). Pada perlakuan C4 (10%) penurunan nilai TPH lebih rendah jika dibandingkan dengan perlakuan C3 (7,5%), hal ini diduga pada konsentrasi 10% walaupun jumlah populasi bakteri meningkat tetapi aktivitas degradasi minyak bumi menurun.

### Berat Basah Tanaman Lamtoro

Berdasarkan analisis varian (ANOVA) pengaruh perlakuan berbagai konsentrasi *sludge* berpengaruh nyata terhadap berat basah tanaman lamtoro (F hitung 4,73 > F tabel 3,57. Hasil uji lanjut DNMRT 5% pengaruh berbagai konsentrasi *sludge* terhadap rata-rata selisih berat basah lamtoro disajikan pada Tabel 3.

Tabel 3. Pengaruh berbagai konsentrasi *sludge* terhadap rata-rata selisih berat basah Lamtoro

Perlakuan	Selisih berat basah
C0 (0%)	+1,06 gram <sup>a</sup>
C1 (2,5%)	-11,76 gram <sup>b</sup>
C2 (5%)	-12,55 gram <sup>b</sup>
C3 (7,5%)	-11,02 gram <sup>b</sup>
C4 (10%)	-13,00 gram <sup>b</sup>

Keterangan: Tanda (-) menunjukkan penurunan dan (+) peningkatan berat basah. angka-angka yang diikuti huruf yang sama menunjukkan berbeda tidak nyata menurut DNMRT 5%.

Tabel 3 dapat dilihat bahwa semua perlakuan kecuali kontrol menyebabkan penurunan berat basah pada akhir penelitian, perlakuan yang tidak ditambahkan *sludge* mengalami penambahan berat basah Pada perlakuan C1 (2,5%) dan C2 (5%) rata-rata mengalami penurunan berat basah yang lebih kecil jika dibandingkan dengan perlakuan C4 (10%). Penurunan berat basah pada perlakuan C3 (7,5%) terlihat paling kecil jika dibandingkan yang lainnya (penambahan *sludge* 2,5%, 5%, 10%), Penurunan berat basah yang terbesar terjadi pada perlakuan C4 (10%).

## PEMBAHASAN

Dalam penelitian ini diketahui Jumlah populasi bakteri yang memiliki populasi yang paling tinggi pertumbuhannya di akhir penelitian pada konsentrasi sludge yang memiliki kadar 10%, pada awal pengukuran yaitu pada minggu ke-4 memang terlihat Jumlah populasi bakteri cukup rendah dibandingkan dengan perlakuan lainnya, hal ini disebabkan bakteri masih melakukan proses adaptasi. Perubahan lingkungan yang terjadi didalam bioreaktor sehingga bakteri membutuhkan proses adaptasi secara alamiah, kemampuan bakteri dalam memanfaatkan hidrokarbon sebagai sumber energi belum dapat dilakukan (Nugroho dan Mulyana 2013). Setelah proses adaptasi jumlah bakteri meningkat pada minggu ke-6 bahkan pada minggu ke-8 mengalami peningkatan jumlah populasi bakteri yang paling tinggi dibandingkan perlakuan lainnya. Hal ini disebabkan sludge yang tersedia masih cukup banyak sebagai nutrisi pertumbuhan bakteri dibandingkan perlakuan lainnya, maka jumlah populasi bakteri yang tumbuh juga tinggi.

Menurut Munawar (1999) penggunaan nutrisi oleh bakteri akan berbanding lurus dengan populasi bakteri, jika nutrisi yang tersedia banyak maka populasi bakteri juga tinggi, sehingga bakteri mampu beradaptasi pada kondisi ekstrim sependapat dengan hasil penelitian Retno dan Mulyana (2013), yaitu pertumbuhan bakteri meningkat pada akhir penelitian (hari ke-42), menunjukkan bakteri mampu beradaptasi pada kondisi ekstrim dengan memanfaatkan senyawa-senyawa dalam sludge minyak bumi sebagai sumber *nutrient*.

Nilai penurunan *Total Petroleum Hidrokarbon* (TPH) yang paling efektif dan pada akhir penelitian dan memiliki nilai yang paling tinggi dibandingkan dengan konsentrasi sludge lainnya yaitu kadar konsentrasi 7,5%, hal ini berarti pada konsentrasi 7,5% merupakan konsentrasi yang sesuai bagi bakteri indigen dan lamtoro dalam mendegradasi limbah minyak bumi.

Pengukuran berat basah tanaman Lamtoro pada akhir penelitian didapatkan di semua perlakuan yang ditambahkan dengan kadar konsentrasi sludge minyak bumi berat basah mengalami penurunan, hal ini diduga tanaman Lamtoro mengalami keracunan sehingga menghambat pertumbuhan tanaman Lamtoro, menurut Munawar (1999) bahwa *sludge* minyak bumi mengandung senyawa hidrokarbon alifatik dan aromatik yang bersifat toksik, sependapat dengan Munir (2006) Efek toksik polutan minyak bagi tanaman dapat menyebabkan terhambatnya pertumbuhan akar, gugurnya daun, klorosis, dan kemampuan tanaman menyerap nutrisi menjadi berkurang sehingga tanaman kekurangan nutrisi.

Perubahan pH lingkungan pada hasil pengukuran di akhir penelitian yaitu berkisar 4,5 - 6 dibandingkan dengan awal penelitian yang berkisar antara 6-6,5 dapat mempengaruhi kemampuan bakteri dalam melakukan proses bioremediasi, Menurut Walsh (1999) dalam Yudono (2011: 24) yang menyatakan bahwa kemampuan bakteri untuk mendegradasi hidrokarbon dipengaruhi oleh pH lingkungannya, jika pH terlalu asam atau basa maka kemampuan bakteri dalam mendegradasi hidrokarbon akan berkurang. Nilai pH dapat mempengaruhi reaksi transformasi biotis, kemampuan fungsi sel dan keseimbangan reaksi yang terkatalis oleh enzim (Nugroho & Mulyana 2013). Al-Anazi (1996) dalam Yudono (2011: 25) menambahkan bahwa tingkat keasaman atau pH yang optimum untuk pertumbuhan bakteri pemecah hidrokarbon adalah antara 6,5-7,5. Sesuai juga dengan pernyataan Lewis yang diacu dalam Sillahi, dkk (2006) menyatakan bahwa kondisi yang sesuai untuk mendukung kehidupan bakteri pH yang optimum berkisar antara 6 -7,5.

## KESIMPULAN

Konsentrasi *sludge* yang diberikan semakin tinggi menyebabkan jumlah populasi bakteri semakin tinggi. Perlakuan konsentrasi *sludge* berpengaruh nyata

terhadap penurunan nilai TPH dan penurunan nilai TPH tertinggi didapatkan pada konsentrasi *sludge* 7,5%. Konsentrasi *sludge* berpengaruh nyata terhadap selisih berat basah Lamtoro dan perlakuan yang diberi *sludge*, tanaman Lamtoro mengalami penurunan berat basah pada akhir penelitian.

#### UCAPAN TERIMA KASIH

Kepada ibu Sri Pertiwi Estuningsih dan ibu Nina Tanzerina yang telah bersedia membimbing sehingga penelitian ini dapat diselesaikan dengan baik.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Akbar Y dan Yani M. 2009. Proses biodegradasi minyak diesel oleh campuran bakteri pendegradasi hidrokarbon. *Jurnal Teknologi Pertanian* 19(1): 40-44.
- Budianto HM. 2008. Perbaikan lahan terkontaminasi minyak bumi secara bioremediasi. <http://www.cmpl.or.id>. [23 Januari 2009].
- Dwijoseputro, D. 1994. *Dasar-dasar Mikrobiologi*. Cetakan 12. Jakarta: Djambatan.
- Estuningsih S.P, Juswardi, Yudono B, Yulianti R. 2012. Potensi rumput sebagai agen fitoremediasi tanah terkontaminasi limbah minyak bumi. *Prosiding Semirata FMIPA Unila*: 365-369.
- Gunalan. 1996. Penerapan bioremediasi pada pengolahan limbah dan pemulihan lingkungan tercemar hidrokarbon petroleum. *Majalah Sriwijaya* 32(1): 1-9.
- Ghosh M dan Singh SP. 2005. *A review on phytoremediation of heavy metals and utilization of its byproducts*. India: Biomass and Waste Management Laboratory, School of Energy and Environmental Studies, Faculty of Engineering Sciences, Devi Ahilya University.
- Handriano P. 2012. Teknologi bioremediasi dalam mengatasi tanah tercemar hidrokarbon. *Prosiding Seminar Nasional Kimia Unesa 2012*: 22-30.
- Hafiluddin. 2011. Bioremediasi tanah dengan teknik bioaugmentasi dan biostimulasi. *Jurnal Embryo* 8(1): 47-52.
- Lakitan B. 1996. *Fisiologi Pertumbuhan dan perkembangan Tanaman*. Jakarta: PT. Raja Grafindo Persada.
- Munawar. 1999. Bioremediasi in vitro limbah industri pengilangan minyak bumi oleh bakteri hidrokarbonolitik. *Jurnal Penelitian Sains* 6: 44-49.
- Munir E. 2006. *Pemanfaatan Mikroba dalam Bioremediasi*. Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam : Universitas Sumatera Utara.
- Millen MS dan Lambertz D. 1998. *Lessons Learned on E & P Biotreatment*. Richmon, California: Healthy Environment and Safety Group. Chevron Research and Technology Caompanz.
- Nurhariyati TN dan Surtiningsih T. 2006. Biodegradasi minyak oleh *rhodotorula* dan *candida* hasil isolasi dari pelabuhan tanjung perak surabaya. *Jurnal Penelitian Hayati*: 12: 27-31.
- Nugroho A. 2006. Biodegradasi minyak bumi dalam skala mikrokosmos. *Jurnal Makara Teknologi* 10(2): 82-89.
- Retno DL dan Mulyana NT. 2013. Bioremediasi lahan tercemar limbah lumpur minyak menggunakan campuran bulking algen yang diperkaya konsorsia mikroba berbasis kompos iradiasi. *Jurnal Aplikasi Isotop dan Radiasi* 9(2): 139-150.
- Sarief S. 1986. *Kesuburan Tanah dan Pemupukan Tanah Pertanian*. Bandung: Pustaka Buana.
- Schlegel HG. 1994. *Mikrobiologi umum. Edisi ke-6*. Yogyakarta: Gadjah Mada university Press.
- Mawar DSS, Effendi E, Tribuwono BR. 2006. Pemanfaatan reaktor batch bioslurry untuk menentukan kinetika biodegradasi limbah minyak bumi. *Jurnal Teknologi Lingkungan* 3(1): 1-11.

- Udiharto M. 1999. Aktivitas mikroba dalam mendegradasi minyak. *Prosiding diskusi Ilmiah VII Hasil Penelitian Lemigas*. Jakarta: 464-467.
- Yudono B. 2011. Sinergi bakteri tanah dan tanaman pada proses bioremediasi tanah terkontaminasi limbah minyak bumi. [Desertasi]. Palembang: Program Studi Ilmu Lingkungan Pascasarjana, Universitas Sriwijaya (tidak dipublikasikan).
- Walsh JB. 1999. A. Feasibility study of bioremediation in a highly organic soil. [Master Thesis]. Worcester Polytechnic Institute.