



**SIMULASI PROSES BIOREMEDIASI PADA LAHAN  
TERKONTAMINASI TOTAL PETROLEUM HIDROKARBON (TPH)  
MENGUNAKAN SERABUT BUAH BINTARO DAN SEKAM PADI**

**THE SIMULATION OF BIOREMEDIATION PROCESS ON TOTAL  
PETROLEUM HYDROCARBONS (TPH)-CONTAMINATED LAND  
USING BINTARO FIBERS AND RICE HUSK**

**Allen Kurniawan**

*Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan, Institut Pertanian Bogor  
Kampus IPB Dramaga, Bogor, 16680, Indonesia  
allenkurniawan@ipb.ac.id; allen.kurniawan@gmail.com*

**ABSTRAK**

Bioremediasi merupakan proses pemulihan lahan tercemar dengan memanfaatkan aktivitas mikroorganisme. Berbagai teknologi telah dikembangkan untuk memperoleh hasil yang optimal, diantaranya adalah penggunaan bulking agent sebagai bahan tambahan untuk meningkatkan porositas tanah dan laju biodegradasi kontaminan. Tujuan dari penelitian ini untuk mengetahui efektivitas terbaik antara bulking agent serabut buah bintaro dan sekam padi dalam menyisihkan Total Petroleum Hidrokarbon (TPH) pada proses bioremediasi. Mikroorganisme eksogenous yang digunakan adalah bakteri *Bacillus* sp. Lahan terkontaminasi dibuat dengan memasukkan sekitar 10% minyak pelumas, 1% bakteri *Bacillus* sp., 1% bulking agent; 0,5-0,8% pupuk NPK dan 1% urea. Reaktor yang digunakan berupa reaktor sederhana tipe landfarming yang dijaga kelembabannya dengan penambahan air dua kali seminggu. Efisiensi konsentrasi TPH selama dua bulan dengan menggunakan serabut buah bintaro sebesar 49,5%, sedangkan sekam padi sebesar 56,12%. Sehingga penggunaan sekam padi sebagai bulking agent lebih efektif dibandingkan serabut buah bintaro dalam membantu biodegradasi pada proses bioremediasi.

Kata kunci: biodegradasi, bioremediasi, bulking agent, total petroleum hidrokarbon.

**ABSTRACT**

*Bioremediation is a recovery process for the contaminated land by utilizing the activities of microorganisms. Various technologies have been developed to obtain the optimal result, one of them is utilizing bulking agent as additive to increase the soil porosity and the contaminant biodegradation rate. The purpose of this study to examine the best effectiveness of Total Petroleum Hydrocarbons (TPH) removal between utilization of bintaro fibers and rice husk bulking agent in remediation process. The exogenous microorganisms that used on this study were *Bacillus* sp. The contaminated land was made by putting about 10% of lubricating oil, 1% of the bacteria *Bacillus* sp, 1% of bulking agent; 0.5-0.8% of NPK fertilizer, and 1% of urea fertilizer. The reactor that used on this study was landfarming type, which is the simple reactor. The humidity on this reactor maintained by added some water for twice a week. The efficiency of TPH concentrations for two months using bintaro fibers and rice husk were 49.5% and 56.12% respectively. Thus, the use of rice husk as bulking agent is more effective than bintaro fibers in biodegradation of bioremediation process.*

*Keywords: biodegradation, bioremediation, bulking agent, total petroleum hydrocarbons.*



## PENDAHULUAN

Penggunaan minyak bumi sebagai sumber energi terus meningkat secara simultan setiap tahun sejalan meningkatnya aktivitas industrialisasi. Besarnya penggunaan minyak bumi menyebabkan timbulnya limbah berbahaya dan beracun bagi lingkungan, karena komponen utama minyak bumi berupa rantai panjang hidrokarbon yang sulit terdegradasi secara alami di dalam tanah. Limbah minyak bumi pada umumnya berupa residu hasil proses pengumpulan dan pengendapan kontaminan. Kontaminan tersebut terdiri dari kontaminan yang telah ada di dalam minyak bumi, maupun kontaminan yang dihasilkan dalam proses produksi dan tidak dapat digunakan kembali untuk proses selanjutnya.

Pencemaran dan kerusakan lingkungan akibat limbah minyak bumi dapat ditanggulangi dengan proses bioremediasi. Bioremediasi merupakan proses pembersihan polutan tanah dengan menggunakan mikroorganisme sebagai media pendegradasi kontaminan menjadi bahan yang kurang atau tidak beracun. Semakin meningkat populasi beberapa mikroorganisme spesifik seperti bakteri, jamur, ataupun alga, maka semakin berkurang konsentrasi kontaminan yang terwakili secara umum oleh konsentrasi Total Petroleum Hidrokarbon (TPH). Dalam proses bioremediasi, *bulking agent* ditambahkan sebagai media untuk memperbaiki permeabilitas, *water holding capacity* dan porositas tanah, sehingga laju biodegradasi meningkat. Berbagai jenis *bulking agent* yang sering digunakan adalah sekam padi, jerami dan serat tandan kosong kelapa sawit. Sedangkan serabut buah bintaro (*Cerbera manghas*) belum pernah diujicobakan sebagai *bulking agent* di dalam proses bioremediasi. Selama ini buah bintaro yang beracun digunakan sebagai bahan baku biodiesel dan sebagian besar ampas buah berupa serabut belum dieksploitasi dengan baik.

Atas dasar deskripsi di atas, maka tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Mengetahui efektivitas terbaik antara *bulking agent* serat buah bintaro dan sekam padi dalam proses biologis yang melibatkan mikroorganisme sehingga dapat diketahui tingkat optimum degradasi pada tanah terkontaminasi dengan dukungan faktor lingkungan lain (jumlah populasi mikroorganisme, pH, temperatur, kelembapan).
2. Menghasilkan rekomendasi dan pengembangan awal untuk tahap penelitian lanjutan yang melibatkan penggunaan serabut buah bintaro pada proses bioremediasi.

## BAHAN DAN METODA

Bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah konsorsium *Bacillus sp.* sebagai mikroorganisme *eksogenous*, tanah percobaan dengan penambahan 10% minyak pelumas bekas, 1% *bulking agents* berupa serabut buah bintaro yang telah dicacah dan sekam padi, pupuk urea dengan komposisi 46% N, pupuk NPK dengan komposisi 16% N, 16% P dan 16% K; N-hexane, serta akuades. Bahan-bahan tersebut dipersiapkan untuk perancangan proses bioremediasi sistem *landfarming* pada skala laboratorium.

Penelitian diawali dengan memasukkan sejumlah tanah dengan ukuran homogen ke dalam wadah plastik hingga ketinggian 10 cm. Limbah minyak bumi berupa pelumas bekas sebesar 10% ditambahkan ke dalam tanah hingga merata. Konsorsium *Bacillus sp.* sebesar 1% dituangkan secara merata dan diaduk, sehingga diharapkan bakteri dapat tersebar merata. Penelitian ini menggunakan 4 (empat) macam perlakuan, yaitu:

- Perlakuan pertama, reaktor dengan penambahan konsorsium *Bacillus sp.* dan 1% sekam padi.
- Perlakuan kedua, reaktor kontrol dengan penambahan 1% sekam padi tanpa konsorsium *Bacillus sp.*
- Perlakuan ketiga, reaktor dengan penambahan konsorsium *Bacillus sp.* dan 1% serabut buah bintaro.
- Perlakuan keempat, reaktor kontrol dengan penambahan 1% serabut buah bintaro tanpa konsorsium *Bacillus sp.*

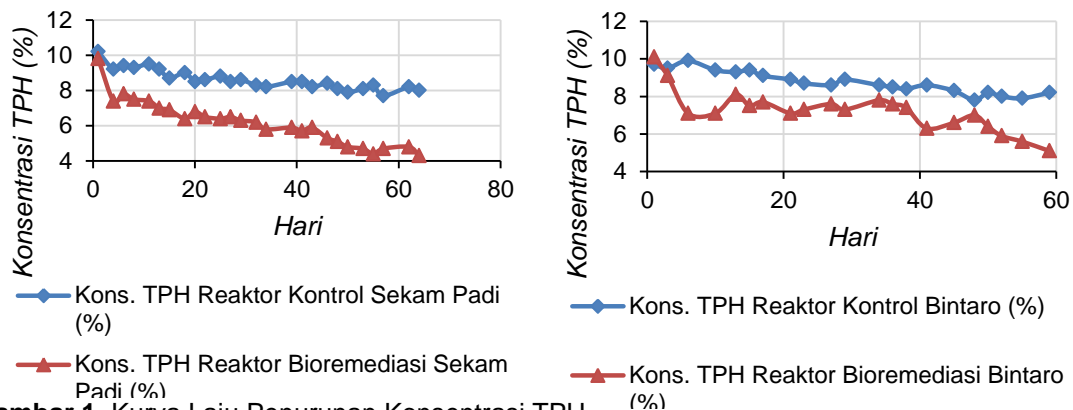


Pada setiap reaktor yang menggunakan konsorsium *Bacillus sp.* ditambahkan pupuk NPK sebesar 0,5-0,8% dan urea sebesar 1%. Tanah yang terkontaminasi dijaga kelembapannya dengan menyemprotkan air dalam intensitas 2 kali seminggu. Pengadukan tanah dilakukan setiap hari atau maksimal dua hari sekali untuk menjaga kondisi aerob pada tanah, dan reaktor ditutup menggunakan plastik yang telah dilubangi untuk menjaga keberlangsungan sirkulasi udara dan kelembapan tanah.

Analisis fisik tanah dilakukan 3 kali seminggu dengan melakukan pengecekan pH, temperatur, serta jumlah populasi mikroorganisme menggunakan spektrofotometer. Pengukuran turbiditas atau tingkat kekeruhan berfungsi untuk mengetahui laju kenaikan jumlah populasi mikroorganisme dalam mendegradasi kontaminan pada tanah. Analisis kimia dilakukan dengan melakukan pengukuran konsentrasi TPH secara gravimetri selama 2 bulan.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Melalui pengukuran TPH secara gravimetri dengan intensitas 3 kali dalam satu minggu selama 2 bulan, maka dihasilkan laju penurunan TPH seperti yang tertera pada gambar 1.



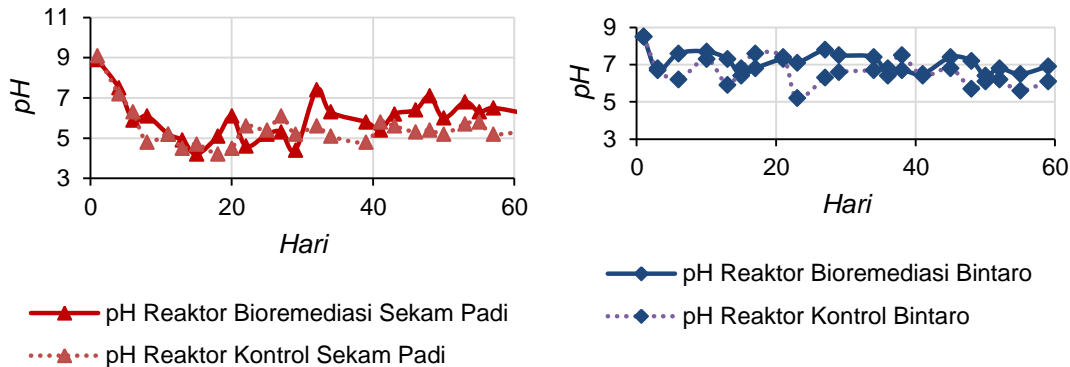
Gambar 1. Kurva Laju Penurunan Konsentrasi TPH

Dari gambar 1 didapatkan bahwa laju penurunan TPH sangat signifikan setelah penambahan konsorsium bakteri *Bacillus sp.* Penurunan ini diakibatkan oleh adanya reaksi biologis dari bakteri *Bacillus sp.*, yang ditandai dengan penggunaan substrat secara optimum oleh bakteri dalam melakukan aktivitas sintesis material baru. Sebaliknya, laju penurunan konsentrasi TPH pada reaktor kontrol berjalan sangat lambat. Laju penurunan konsentrasi TPH yang bersifat alamiah ini diakibatkan adanya reaksi biologis dari mikroorganisme *endogenous* yang berada di dalam tanah. Mikroorganisme ini juga mempunyai kemampuan dalam proses utilisasi (pemanfaatan) substrat untuk dijadikan sumber makanan. Namun pada pelaksanaannya, mikroorganisme ini membutuhkan serangkaian proses adaptasi alamiah, sehingga kemampuan optimum dalam memanfaatkan substrat tidak dapat dikeluarkan. Efisiensi penyisihan TPH selama 2 bulan pada proses bioremediasi menggunakan sekam padi sebesar 56,12% dan serabut buah bintaro sebesar 49,5%. Sehingga sekam padi mempunyai tingkat efektivitas lebih baik dibandingkan serabut buah bintaro dalam membantu proses biodegradasi tanah terkontaminasi minyak bumi. Namun mengingat proses analisis hanya dilakukan selama 2 bulan, nilai efisiensi tersebut dapat berubah karena pada umumnya proses bioremediasi berlangsung selama 4 bulan. Diperlukan adanya tambahan durasi proses degradasi untuk membuktikan tingkat efektivitas penggunaan kedua jenis *bulking agents* tersebut.

pH tanah secara signifikan akan mempengaruhi aktivitas mikroorganisme. pH akan mempengaruhi reaksi transformasi biotis, kemampuan fungsi-fungsi sel, seperti transportasi melalui membran sel, dan keseimbangan reaksi yang terkatalis oleh enzim (Notodarmojo, 2005). Pertumbuhan mikroorganisme akan meningkat apabila pH berada pada kisaran 6 hingga 9 (Eweis *et al*, 1998). Dari gambar 2 terlihat bahwa nilai pH pada reaktor bioremediasi berada pada kisaran antara 5 hingga 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 (Helmy, 2006). Sebaliknya nilai pH pada reaktor

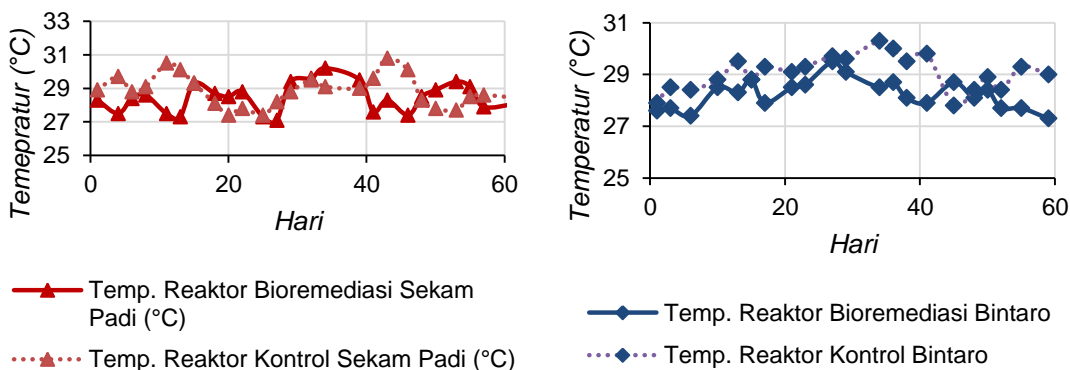


**Gambar 2.** Kurva Fluktuasi Nilai pH

berada pada kisaran 4 hingga 6. Nilai pH reaktor kontrol lebih rendah dibandingkan pH reaktor bioremediasi, karena secara alamiah bakteri *endogenous* di dalam tanah menghasilkan asam atau metabolit lain yang terkadang berlebih. Akibat bakteri yang akan menggunakan asam dan metabolit lain tersebut sedikit, maka kondisi toksik akan menghalangi proses metabolisme dan pertumbuhan bakteri dalam mendegradasi polutan, sehingga akan sulit mengharapkan kenaikan laju pertumbuhan bakteri yang cepat.

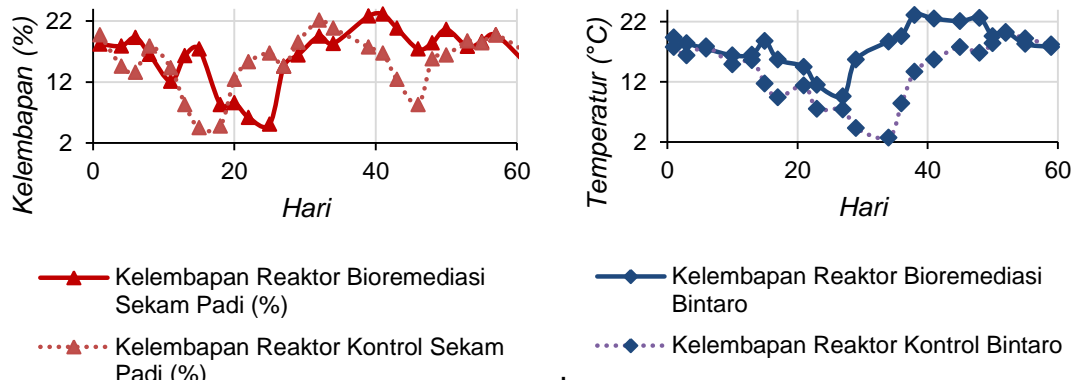
Temperatur tanah memberikan efek yang besar dalam aktivitas mikroorganisme dan laju biodegradasi. Peningkatan temperatur sebesar 10°C dapat meningkatkan laju reaksi hingga dua kali lipat (Eweis *et al*, 1998). Kenaikan temperatur juga akan mempengaruhi kenaikan nilai bio-transformasi dalam aktivitas mikroorganisme, kenaikan solubilitas kontaminan, dan penurunan proses adsorpsi kontaminan di dalam tanah. Temperatur optimum bagi hampir semua mikroorganisme tanah umumnya 10-40°C, walaupun ada beberapa yang dapat hidup pada temperatur hingga 60°C (bakteri termofilik). Sedangkan pada temperatur rendah, proses biodegradasi akan terhenti. Pada penelitian ini baik pada reaktor bioremediasi ataupun reaktor kontrol, temperatur tanah berada pada nilai konstan antara 27°C hingga 30,8°C (Gambar 3). Kisaran tersebut mengindikasikan bahwa bakteri *endogenous* yang ada di dalam reaktor kontrol dan bakteri eksogenous berupa *Bacillus sp.* dapat hidup pada temperatur normal. Umumnya bakteri *Bacillus sp.* mampu bertahan hingga suhu 45°C. Kisaran temperatur ini sesuai dengan pertumbuhan bakteri jenis *mesofilik*, yang dapat hidup pada temperatur 15-45°C, dengan tingkat optimal pertumbuhan pada suhu 25-35°C.

Kelembapan diukur setiap 3 kali dalam seminggu, Menurut Eweis *et al* (1998) dalam Sulistyowati (2001), kelembapan ideal bagi pertumbuhan bakteri adalah 12-30%. Sedangkan hasil pengukuran menunjukkan kelembapan pada reaktor bioremediasi berada pada kisaran 5,1-23,15% dan pada reaktor kontrol adalah 2,7-23,46%. Hal tersebut menunjukkan bahwa kelembapan memiliki rentang yang jauh



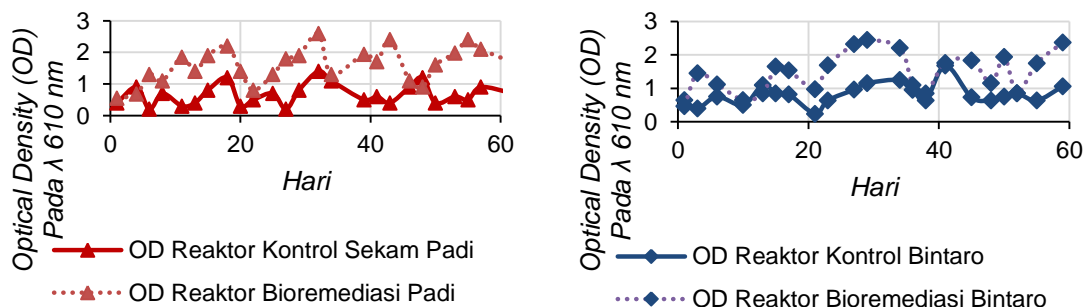
**Gambar 3.** Kurva Fluktuasi Temperatur

dari kelembapan optimal. Kondisi kelembapan yang rendah dapat ditingkatkan dengan dilakukan penyiraman air yang lebih intensif dalam setiap minggu. Pada gambar 4 terlihat bahwa pada reaktor dengan menggunakan bulking agent serabut buah bintaro memiliki kelembapan yang lebih tinggi dibandingkan dengan sekam padi. Hal ini disebabkan karena serabut buah bintaro memiliki kemampuan menyerap air lebih besar dibandingkan dengan sekam padi. Kondisi tanah yang lembab mengakibatkan degradasi bakteri optimal karena terpenuhinya nutrisi dan substrat. Hubungan antara laju konsentrasi TPH dan kelembapan menunjukkan bahwa kelembapan tinggi mengakibatkan konsentrasi TPH menurun, karena proses transfer nutrisi bagi bakteri berjalan optimal.



**Gambar 4.** Kurva Fluktuasi Kelembapan

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 (Notodarmojo, 2005). Laju penurunan substrat yang terwakili oleh besarnya konsentrasi TPH akan diikuti oleh kenaikan jumlah populasi mikroorganisme. Kondisi ini diakibatkan karena dibutuhkannya substrat sebagai sumber energi dan sumber karbon untuk pertumbuhan dan regenerasi sel (Kurniawan, 2010). Besarnya jumlah populasi bakteri terwakili oleh nilai *optical density* yang diukur melalui spektrofotometer dengan panjang gelombang 610 nm. Hasil penelitian pada gambar 5 menjelaskan bahwa jumlah populasi bakteri setelah penambahan bakteri *Bacillus sp.* pada reaktor bioremediasi memberikan lonjakan jumlah bakteri yang sangat signifikan pada tanah terkontaminasi minyak bumi. Pola pertumbuhan bakteri menunjukkan proses regenerasi sel sehingga laju pertumbuhan bakteri meningkat yang drastis. Hal tersebut diakibatkan bakteri akan membentuk preferensi untuk memilih substrat sehingga terjadi jalur reaksi degradasi (*pathway*) dari kontaminan polutan hidrokarbon. Sebaliknya pada reaktor kontrol, pertumbuhan bakteri tidak mengalami kemajuan yang pesat, karena diperkirakan ketersediaan substrat tidak mampu untuk memenuhi kebutuhan proses sintesis sel dan faktor-faktor pendukung lainnya seperti kandungan karbon, nitrogen, dan fosfor semakin kecil di dalam tanah. Akibatnya proses regenerasi sel menjadi melambat, sedangkan kematian sel bakteri semakin membesar.



**Gambar 5.** Kurva Fluktuasi Dinamika Populasi Konsorsium *Bacillus sp.*



## KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan yang bisa ditarik dari penelitian skala kecil ini adalah:

1. Efisiensi konsentrasi TPH selama 2 bulan pada reaktor bioremediasi menggunakan serabut buah bintaro sebesar 49,5%, sedangkan sekam padi sebesar 56,12%. Faktor lingkungan penunjang pada kedua jenis *bulking agents* seperti pH berkisar antara 4-6, temperatur berkisar antara 27-30,8°C, kelembapan 5,1-23,15% dan dinamika populasi bakteri *Bacillus* sp. berada pada kisaran *optical density* antara 0,5-2,6.
2. Analisis di atas perlu ditindaklanjuti dengan memperpanjang durasi proses bioremediasi menjadi 4 bulan, sehingga tercipta nilai kondisi ideal terbaik di dalam proses bioremediasi.

Saran pada penelitian ini yaitu pengukuran dinamika jumlah populasi mikroorganisme tidak hanya diukur melalui uji tingkat kekeruhan (turbiditas) pada spektrofotometer, melainkan juga melalui uji *Total Plate Count* (TPC) untuk mendapatkan hasil akurat. Selain itu tipe pengolahan bioremediasi sangat sederhana, sehingga diperlukan adanya modifikasi tipe pengolahan menjadi lebih kompleks.

## DAFTAR PUSTAKA

- Eweis, J. B., Ergas S. J., Chang D. P. Y., Schroeder, E. D. (1998). *Bioremediation Principles*, McGraw-Hill, New York.
- Helmy, Q. (2006). *Pengaruh Penambahan Surfaktan Terhadap Biodegradasi Sludge Minyak Bumi Oleh Konsorsium Bakteri Petrofilik*, Teknik Lingkungan ITB, Bandung (Tidak Dipublikasikan).
- Kurniawan, A. (2010). *Kinetika Biodegradasi Residu Total Petroleum Hydrocarbons Dengan Konsentrasi Di Bawah 1% (W/W) Hasil Proses Bioremediasi*, Teknik Lingkungan ITB, Bandung (Tidak Dipublikasikan).
- Notodarmojo, S. (2005). *Pencemaran Tanah & Air Tanah*, Penerbit ITB, Bandung.
- Sulistyowati, A. (2001). *Bioremediasi Tanah Terkontaminasi Hidrokarbon di PT. NNT*, Teknik Lingkungan ITS, Surabaya (Tidak Dipublikasikan).