

# Penanggulangan Tanah Terkontaminasi Limbah Minyak Menggunakan Teknik Bios (Skala Pilot)

Oleh: **Zulkifliani**

Pengkaji Teknologi pada Pusat Penelitian dan Pengembangan Teknologi Minyak dan Gas Bumi "LEMIGAS"

Jl. Ciledug Raya Kav. 109, Cipulir, Kebayoran Lama, Jakarta Selatan 12230, Indonesia

Tromol Pos : 6022/KBYB-Jakarta 12120, Telepon : 62-21-7394422, Faksimile : 62-21-7246150

Teregistrasi I Tanggal 20 Januari 2011; Diterima setelah perbaikan tanggal 16 Februari 2011

Disetujui terbit tanggal: 29 April 2011

## S A R I

Penanggulangan tanah yang terkontaminasi oleh limbah minyak memerlukan *oil separation technology* yang tepat dan tidak menimbulkan masalah lain. Salah satu usaha penanggulangan limbah tersebut adalah menggunakan teknik yang terintegritas, *feasible* (efektif dan efisien) dan ramah lingkungan yaitu teknik Bios. Aplikasi teknik Bios untuk pengolahan tanah tercemar minyak skala pilot telah dilakukan pada studi ini dengan hasil yang baik. Tanah yang tercemar minyak dengan total hidrokarbon minyak (*TPH-Total Petroleum Hydrocarbon*) dengan rerata 33,59% dapat diturunkan menjadi 0,98%). Di samping itu berdasarkan analisis laboratorium, minyak yang berhasil diambil kembali (*oil recovery*) masih dapat digunakan kembali sebagai *oil feed* di kilang.

**Kata kunci:** limbah minyak, separasi minyak, bioekstraksi, total hidrokarbon minyak

## ABSTRACT

*Combating soil contaminated by oil waste requires appropriate oil separation technology that does not cause other problems. One of the efforts to cope with this contaminated soil is by the application of Bios technique which is integrated, feasible (effective and efficient) and environmentally friendly. Bios technique application in upgrading oil-contaminated soil has been carried out in this study with good results. Oil-contaminated soil containing total petroleum hydrocarbon (TPH) with the mean of 33.59% can be reduced to 0.98%. In addition, based on the laboratory analysis, the oil that can be successfully recovered from the soil (oil recovery) can still be reused as oil feed in refineries.*

**Keywords:** oil sludge, oil separation, bioextraction, Total Petroleum Hydrocarbon

## I. PENDAHULUAN

Teknologi pengolahan limbah yang ada di industri migas saat ini sudah berkembang pesat dengan menggunakan peralatan modern dan sistem monitoring yang kontinu, tetapi pada dasarnya teknik pengolahan limbah itu tetap dilakukan secara fisik/mekanik, termal, kimia, dan biologi. Teknologi pengolahan limbah tersebut dapat diaplikasikan secara terpisah atau dikombinasikan satu dengan lainnya sehingga diperoleh hasil yang maksimal tergantung pada kualitas, kuantitas, dan teknik pengolahan yang digunakan.

Salah satu teknik yang digunakan untuk membersihkan tanah yang tercemar limbah minyak adalah dengan teknik Bios, yaitu teknik pengolahan tanah tercemar minyak secara terpadu, baik melalui proses pemisahan secara fisika/mekanik, termal, kimia, dan biologi. Dengan teknik Bios ini, minyak yang terdapat dalam tanah atau material padat lainnya diambil kembali sebanyak mungkin (*oil recovery*) dan tanah hasil olahan dengan kadar total hidrokarbon minyak (*TPH-Total Petroleum Hydrocarbon*) di bawah 1% dapat dikembalikan ke lingkungan semula (*backfill*). Teknik Bios mempunyai prospek sebagai salah satu alternatif teknik remediasi yang *feasible*

dalam pengolahan tanah tercemar minyak di lingkungan industri migas. Keunggulan dari teknik Bios adalah diperolehnya kembali minyak dalam jumlah yang maksimal, tanah hasil olahan dapat dikembalikan ke lingkungan, berkurangnya volume limbah tanah yang tercemar, waktu proses pengolahan limbah relatif lebih cepat, dan dalam prosesnya menggunakan bahan *biosolvent* yang ramah lingkungan (Zulkifliani, 2004).

Kilang minyak merupakan fasilitas proses pengolahan minyak bumi menjadi produk-produk Bahan Bakar Minyak (BBM) dan Non Bahan Bakar Minyak (Non-BBM). Di samping itu dalam prosesnya dihasilkan material sisa dalam bentuk limbah padat, cair, dan gas yang dapat mencemari tanah, air atau udara. Tanah yang tercemar limbah minyak sering ditemukan di area kilang minyak, keberadaannya dapat berasal dari tumpahan atau bocoran pipa saat pengolahan, transportasi dari tanker ke unit pengolahan atau tangki penimbunan, atau rembesan dari kolam penampungan (*sludge pit*). Menurut sumber dan karakteristiknya limbah minyak tergolong dalam limbah B3, seperti disebutkan dalam PP No. 18/1999 tentang pengelolaan limbah bahan berbahaya dan beracun (B3), bahwa limbah adalah sisa suatu usaha dan/atau kegiatan yang mengandung bahan berbahaya dan/atau beracun yang karena sifat dan/atau konsentrasinya dan/atau jumlahnya, baik secara langsung maupun tidak langsung, dapat mencemarkan dan/atau merusakkan lingkungan hidup, dan/atau dapat membahayakan lingkungan hidup, kesehatan, kelangsungan hidup manusia serta makhluk hidup lain.

Metode remediasi yang dapat digunakan dalam pengolahan tanah tercemar minyak di antaranya adalah mencampur tanah tercemar minyak dengan tanah yang telah dikultivasi, kemudian minyak yang terkandung dalam tanah didegradasi oleh bakteri, tetapi metode ini mempunyai kendala dalam hal batasan lahan, waktu proses yang lama, dibutuhkan area yang khusus, dapat menyebabkan kontaminasi pada tanah dan berpotensi menyebabkan kontaminasi terhadap air tanah. Metode lain yang bisa digunakan misalnya sentrifugasi dan pembakaran, tetapi kedua metode ini tidak dapat digunakan untuk pengolahan tanah yang tercemar oleh minyak fraksi berat karena 5-10% minyak masih tersisa dalam tanah (JETRO, 2010).

Dalam beberapa kasus yang terjadi di industri minyak, tanah yang terkontaminasi minyak dan sisa

tanah hasil pengolahan awal “dikirim saja” ke perusahaan yang mempunyai fasilitas pengolahan limbah B-3. Di satu sisi masalah yang ada di lokasi tempat kejadian dapat diatasi tetapi di sisi lain berpengaruh terhadap lingkungan dan diperlukan biaya yang lebih besar serta sumber energi (minyaknya) tidak dapat diambil dari tanah tercemar (*oil losses*), walaupun tanah tersebut masih banyak mengandung minyak. Oleh sebab itu tanah yang tercemar minyak harus diremediasi terlebih dahulu dengan metode yang tepat dan tuntas sampai tanah tersebut tidak mengandung lagi bahan-bahan berbahaya dan beracun sehingga aman bagi makhluk hidup dan ekosistem di sekitarnya.

Berdasarkan latar belakang masalah di atas, dilakukan studi yang bertujuan untuk mengolah tanah tercemar minyak secara terpadu dalam suatu reaktor multifungsi (skala pilot), dengan cara mengambil kembali minyak semaksimal mungkin, dapat dilakukan di lokasi lahan tercemar, dan tanpa menimbulkan masalah baru.

## II. BAHAN DAN METODE

Dalam studi penanggulangan tanah terkontaminasi minyak ini digunakan bahan pengekstrak hayati (*biosolvent*) yang berfungsi sebagai bahan pelarut yang mempunyai efektivitas dan efisiensi yang baik dalam mengekstraksi minyak yang mengontaminasi tanah. Bahan ini merupakan suatu senyawa organik yang diisolasi dari organisme hidup (*biological source*) yang sumbernya banyak ditemukan di Indonesia.

Jenis sampel tanah tercemar yang digunakan dalam studi ini berasal dari lokasi tercemar di salah satu kilang. Sampel tanah dibagi menjadi tiga kelompok yaitu kode NFA yang diambil dari bagian bawah permukaan  $\pm 25-75$  cm, mempunyai ciri agak kering, lunak (seperti *clay*), mempunyai tingkat keasaman yang rendah dan rerata nilai TPH 39,13%. Sampel tanah kedua adalah NFA SP, mempunyai sifat hampir sama dengan NFA, yang berbeda hanya bersifat lebih basah dan memiliki rerata nilai TPH 34,32%. Dan yang terakhir adalah jenis sampel NFA Mix, yang merupakan gabungan dari beberapa lokasi titik sampling yang mempunyai kriteria bertekstur agak keras dan kasar, bisa basah atau kering, dapat ditemukan di atas dan di bawah permukaan, mempunyai tingkat keasaman yang tinggi yaitu berkisar antara pH 2-4 dan rerata nilai TPH yang lebih rendah yaitu 27,31%.

Regulasi untuk pengolahan tanah tercemar di lingkungan industri minyak saat ini mengacu pada Kepmen LH No. 128/2003 tentang tata cara dan persyaratan teknis pengolahan limbah minyak bumi dan tanah terkontaminasi oleh minyak bumi secara biologis. Dalam regulasi ini disebutkan bahwa ada tiga teknik yang dapat digunakan dalam pengolahan limbah minyak bumi yaitu hanya secara biologi (*landfarming*, *biopile*, dan *composting*). Tetapi pada dasarnya, teknologi pengolahan tanah tercemar minyak dapat dilakukan dengan teknik fisik/mekanik, termal, kimia, dan biologi. Oleh karena itu dikembangkan teknik pengolahan tanah tercemar minyak yang terintegrasi antara teknik pengolahan secara fisika/mekanik, termal, kimia, dan biologi dengan efektifitas dan efisiensi yang tinggi (selanjutnya disebut teknik Bios).

Peralatan utama yang digunakan adalah reaktor multifungsi atau *multi purpose reactor unit* (MPRU) yang terbuat dari plat baja 4 mm berbentuk silinder dengan ukuran diameter 80 cm, tinggi 120 cm, dan kapasitas pengolahan sekitar 300 kg. Reaktor ini dilengkapi dengan plat pengaduk yang digerakkan oleh motor listrik dengan kecepatan 50 rpm. Dalam proses pengolahannya, reaktor dipanaskan antara suhu 70 s/d 80°C dengan elemen pemanas (*heater*) yang terdapat pada bagian bawah reaktor dan untuk pengontrol suhu reaktor diberi sensor pendeteksi panas yang terhubung dengan panel kontrol. Untuk memperoleh hasil yang lebih baik dalam proses pemisahan antara minyak dari tanah atau material padat lainnya, reaktor ini dilengkapi dengan drain, *gate valve*, dan *ball valve* untuk saluran *inlet* dan *outlet* air bilasan, *oil & water recovery*, dan pasir hasil olahan (Gambar 1).

Mekanisme pengolahan tanah tercemar limbah minyak dengan teknik Bios mempunyai tiga tahap:

- a. **Tahap Persiapan (*pre-treatment*)**, yaitu tahap pengambilan sampel tanah di lokasi tercemar. Selanjutnya sampel dimasukkan ke dalam reaktor (MPRU) untuk proses pemanasan pada suhu 70°C sampai 80°C tergantung pada jenis dan konsentrasi minyak dalam tanah tersebut.
- b. **Tahap Pengolahan (*treatment*)**, yaitu tahap penambahan *biosolvent* dengan jumlah konsentrasi yang disesuaikan dengan kondisi tanah tercemar atau sesuai hasil uji formulasi di laboratorium. Setelah percampuran homogen, air pencuci (*washing water*) ditambahkan secukupnya ke dalam reaktor yang berfungsi



**Gambar 1**  
**Peralatan Pengolahan Tanah Tercemar Minyak dengan Teknik Bios (A) *Washing Water Container*, (B) *Multi Purpose Reactor Unit & Control Panel*, (C) *Water & Oil Recovery Container***

sebagai pencuci sisa hidrokarbon yang mungkin masih menempel pada tanah dan material padat lainnya. Kemudian campuran fluida tersebut diendapkan beberapa saat (*settling*) atau sampai terbentuk dengan jelas lapisan minyak, lapisan air, dan sedimen pengotor (bagian dasar reaktor).

- c. **Tahap Pasca Pengolahan (*post-treatment*)** berupa tahap bioremediasi sisa minyak (TPH >1%) yang mungkin masih ada pada tanah (Kepmen LH No. 128/2003). Untuk material padat biasanya dilakukan bioremediasi dengan metode yang disesuaikan dengan lahan dan peruntukannya di lapangan. Tanah hasil olahan yang sudah sesuai aturan KLH dapat dikembalikan ke lokasi semula (*backfill*) atau digunakan sesuai keperluan di lapangan. Sedangkan fase air dialirkan ke WWTU (*Waste Water Treatment Unit*) untuk dibersihkan dari sisa-sisa hidrokarbon dan lain-lain, kemudian air yang sudah bersih digunakan kembali sebagai air pencuci pada proses pengolahan selanjutnya.

### III. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### A. *Survei dan Sampling*

Pada studi ini dilakukan pengambilan sampel tanah di sekitar lokasi yang tercemar minyak sebanyak 12 titik sampling. Setelah dianalisis di laboratorium, sampel tanah tercemar di area tersebut dikelompokkan hanya menjadi tiga jenis, yaitu kode NFA, NFA SP, dan NFA Mix. Sebelum dilakukan penentuan TPH dan pH, pada sampel tanah tercemar ditentukan jumlah populasi mikrobanya. Hasil kultivasi

di media agar menunjukkan bahwa semua jenis sampel yang diambil dari lokasi tercemar tidak memperlihatkan adanya pertumbuhan mikroba, baik menggunakan teknik *Total Plate Count* dan juga teknik *Deep Slide Test*. Hal ini menunjukkan bahwa tanah tersebut telah tercemar minyak dengan kondisi yang parah (ekstrem) dengan pH yang rendah dan nilai TPH yang relatif tinggi, sehingga mikro organisme tidak dapat tumbuh dan berkembang biak.

### B. Pelaksanaan Uji Coba

Prosedur pengolahan tanah tercemar limbah minyak yang dilakukan di lapangan hampir sama seperti pada saat uji skala laboratorium, hanya berbeda dari segi kapasitas reaktor dan jumlah sampel. Dalam uji coba ini, tanah tercemar minyak yang diolah sebanyak 551 kg. Dari jumlah tersebut dihasilkan perolehan minyak kotor atau *gross oil recovery* sebanyak 431 kg (64,76%) dan tanah olahan atau *treated soil* sebanyak 234,5 kg (35,24%). Tetapi dari total perolehan minyak kotor tersebut terkandung air sebanyak 137 kg, air tersebut berasal dari limbah awal dan air bilasan (*washing water*). Selain itu juga masih mengandung komponen biosolvent sebanyak 114,5 kg, sehingga dari 551 kg tanah tercemar yang diolah diperoleh minyak bersih atau *net oil recovery* sebanyak 179,5 kg (32,58%). *Material balance* dari pengolahan tanah tercemar minyak dengan teknik Bios dapat dilihat pada Tabel 1.

Hasil proses pengolahan tanah tercemar minyak menggunakan reaktor multifungsi terbagi menjadi tiga

bagian (lihat Gambar 2), yaitu minyak yang sudah terbebas dari tanah atau material padat lainnya, tanah hasil olahan dengan kandungan minyak atau TPH di bawah 1%, dan air sisa pembilasan. Nilai TPH semua sampel tanah tercemar yang diolah dengan teknik Bios mengalami penurunan yang signifikan, yaitu lebih dari 90%. Persentase tertinggi yang mengalami penurunan nilai TPH adalah sampel NFA SP dari 34,32% menjadi 0,26%, diikuti oleh sampel NFA dari 39,13% menjadi 0,84% dan penurunan yang terendah adalah NFA MIX dari 27,31% menjadi 1,85%. Pada sampel NFA dan NFA SP memiliki sifat yang hampir sama yaitu tekstur sampel yang lunak dan berair sehingga memudahkan dalam proses pemisahannya dengan cara ekstraksi, sedangkan sampel NFA MIX sudah banyak perubahan sifat yaitu telah mengalami



**Gambar 2**  
Hasil Pengolahan Tanah Tercemar Limbah Minyak dengan Teknik Bios. (A-1) *Washing Water Container*, (A-2) *Oil Recovery Container*, (B-1) Tanah Hasil Olahan dengan Satu Kali Pembilasan dan (B-2) Dua Kali Pembilasan

**Tabel 1**  
**Material Balance (kg) pada Pengolahan Tanah Tercemar Minyak dengan Teknik Bios**

No.	Kode Sampel	Jumlah pada Pre-Treatment (kg)			Jumlah pada Post-Treatment (kg)		
		TT	BIOS	B-1	OR	TS	B-2
1	NFA-3	189	46	235	163	72	235
2	NFA MIX	125	22.5	147.5	91	56.5	147.5
3	NFA SP-1	237	46	283	177	106	283
<b>Jumlah Total</b>		<b>551</b>	<b>114.5</b>	<b>665.5</b>	<b>431</b>	<b>234.5</b>	<b>665.5</b>
<b>(%)</b>		<b>82.80</b>	<b>17.21</b>	<b>100.00</b>	<b>64.76</b>	<b>35.24</b>	<b>100.00</b>

**Keterangan:**

Pre-T = Jumlah sebelum Ekstraksi  
TT = Tanah Tercemar  
TS = Treated Soil  
B-1 = Berat sebelum Ekstraksi

Post-T = Jumlah setelah Ekstraksi  
BIOS = Biosolvent  
OR = Oil Recovery  
B-2 = Berat setelah Ekstraksi

pengerasan (karbonisasi) sehingga membutuhkan panas yang lebih tinggi dan waktu pengolahan yang lama dibandingkan dengan kedua sampel sebelumnya. Tetapi secara umum proses pengolahan tanah tercemar minyak dengan teknik Bios memperlihatkan hasil yang baik, dengan indikator berupa jumlah minyak yang berhasil diperoleh kembali dari tanah tercemar mencapai 32,58% dari 33,59% dan sisa minyak pada tanah hasil olahan (*treated soil*) bisa turun dengan rerata mencapai 0,98% (lihat Tabel 2).

Pada uji coba skala pilot ini memperlihatkan bahwa *biosolvent* yang digunakan mempunyai kemampuan ekstraksibilitas bisa mencapai 96,77%, dengan hasil ini menunjukkan bahwa *biosolvent* yang digunakan mempunyai kinerja yang maksimal dalam memisahkan minyak dari tanah atau material padat lainnya dan mempunyai kompatibilitas yang baik terhadap minyak yang akan diekstrak. Selain itu juga tingkat keasaman tanah tercemar pada awalnya rendah, yaitu rerata pH 5,27 (pada beberapa jenis sampel NFA bahkan bisa mencapai pH 2 - 4), tetapi setelah melalui ekstraksi menggunakan *biosolvent* rerata pH menjadi 8,71. Kondisi pH tanah yang demikian sudah sesuai dengan Kepmen LH No. 128/2003, bahwa tingkat keasaman tanah hasil remediasi yang berasal dari industri minyak berkisar antara pH 6 s.d 9.

Pengolahan tanah tercemar minyak menggunakan teknik Bios memberikan keuntungan bagi pemulihan ekosistem lingkungan, dengan berkurangnya volume tanah yang terkontaminasi limbah minyak dan konsentrasi minyak (TPH) dalam tanah. Selain itu

diperoleh juga minyak (*oil recovery*) sebanyak 32,58% (rerata TPH sebelum ekstraksi adalah 33,59%) yang merupakan nilai tambah dari penanggulangan tanah tercemar limbah minyak.

#### IV. KESIMPULAN DAN SARAN

##### KESIMPULAN

- Penanggulangan tanah tercemar limbah minyak menggunakan teknik Bios menunjukkan hasil yang baik dengan efisiensi ekstraksi mencapai 96,77%.
- Tanah tercemar yang mempunyai rerata TPH awal sebesar 33,59% dapat diturunkan menjadi rerata 0,98%. Hal ini telah memenuhi ketentuan pemerintah sesuai dengan Kepmen LH No. 128/2003, bahwa tanah hasil olahan dari limbah kilang harus mempunyai TPH tidak lebih dari 1%.
- Setelah melalui pengujian laboratorium, perolehan minyak kembali (*oil recovery*) yang berjumlah 32,58% masih dapat digunakan dan diolah lebih lanjut di kilang sebagai *oil feed*.

##### SARAN

- Pengolahan limbah minyak skala pilot dengan teknik Bios ini diharapkan dapat menjadi landasan untuk implementasi secara komersial di lingkungan industri migas dengan kapasitas pengolahan yang lebih besar.
- Perlu dilakukan inventarisasi, karakterisasi dan uji coba untuk tanah tercemar yang ada di semua kilang minyak di Indonesia.

Tabel 2  
Nilai TPH dan pH yang terkandung dalam Tanah Sebelum dan Sesudah Ekstraksi Menggunakan *Biosolvent*

No.	Kode Sampel	Total Petroleum Hydrocarbon (%)		Ekstraktibilitas (%)	Derajat Keasaman (pH)	
		PRE-T	POST-T		PRE-T	POST-T
1	NFA	39.13	0.84	97.85	5.10	8.82
2	NFA MIX	27.31	1.85	93.23	4.23	8.53
3	NFA SP	34.32	0.26	99.24	6.49	8.77
<b>Nilai Rerata</b>		<b>33.59</b>	<b>0.98</b>	<b>96.77</b>	<b>5.27</b>	<b>8.71</b>

Keterangan:

Pre-T = sebelum ekstraksi

Post-T = setelah ekstraksi

#### KEPUSTAKAAN

1. Anonymous, 1999, Pengelolaan Limbah Bahan Berbahaya dan Beracun, Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor: 18 Tahun 1999.
2. Anonymous, 2003, Tatacara dan Persyaratan Teknis Pengolahan Limbah Minyak Bumi dan Tanah Terkontaminasi oleh Minyak Bumi Secara Biologis, Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor: 128 Tahun 2003.
3. Japan External Trade Organization, 2010, The Study on Oil Sludge Treatment Project for Saudi Aramco in Saudi Arabia. Toyo Engineering Corporation Mitsui & Co. Ltd.
4. Zulkifliani, 2004, Penanggulangan Tanah Terkontaminasi oleh Limbah Minyak dari Kilang/ Unit Pengolahan dengan *Bios Oil Removal* pada Skala Laboratorium (Tahap-I), Publikasi LEMIGAS Volume 38, No. 3, Desember 2004, Jakarta.