

# Teknik Cuci Lahan (*Soil Washing*) untuk Remediasi Lahan Tercemar Minyak Bumi

Oleh:

M. Mulyono

## I. PENDAHULUAN

Di tempat-tempat di mana terdapat kegiatan perminyakan sering kita jumpai lahan atau tanah yang mengandung minyak. Keberadaan minyak di dalam tanah ini dapat berasal dari berbagai sumber, misalnya rembesan alami, akibat penggunaan kolam penampungan (*pit*), atau karena terjadinya kecelakaan dalam penyaluran atau pengangkutan minyak. Tentunya, dari mana pun sumber minyak di dalam tanah ini, lahan yang mengandung minyak ini perlu “dibersihkan” agar tidak menimbulkan masalah lanjutan.

Pencemaran tanah oleh minyak bumi dalam jangka panjang dapat mengakibatkan pencemaran air tanah oleh komponen-komponen minyak yang relatif mudah larut ke dalam air, misalnya senyawa-senyawa BTEX (benzena, toluena, etil benzena dan xilena). Kelarutan BTEX di dalam air sangat jauh lebih besar dibanding dengan senyawa hidrokarbon parafinik. Sebagai contoh, kelarutan benzena di dalam air mencapai 1800 mg/l, sementara kelarutan n-heksana, hidrokarbon parafinik yang mempunyai jumlah atom karbon sama dengan benzena, hanya 0,001 mg/l. BTEX mempunyai sifat racun yang lebih besar dibanding dengan hidrokarbon parafinik, sehingga keberadaannya di dalam air dapat menimbulkan berbagai masalah. Konsentrasi maksimum benzena di dalam air yang diperbolehkan sesuai dengan ketentuan WHO adalah 0,005 mg/l. BTEX, juga senyawa-senyawa hidrokarbon aromatik lainnya – misalnya benzo (“)pirena – dikenal sebagai senyawa karsinogen.

Berbagai teknologi telah banyak ditawarkan dan diterapkan dalam upaya membersihkan lahan yang tercemar minyak bumi. Di negara-negara maju (Eropa dan Amerika Utara) regulasi tentang penggunaan teknologi-teknologi ini juga telah banyak dibuat. Di

Indonesia, regulasi yang terkait dengan penerapan teknologi remediasi tanah dapat dilihat misalnya di dalam Surat Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup, Nomor 128, Tahun 2003, tentang Tata cara dan Persyaratan Teknis Pengolahan Limbah Minyak Bumi dan Tanah Terkontaminasi oleh Minyak Bumi secara Biologis<sup>(1)</sup>. Di dalam regulasi ini disebutkan tiga teknik yang dapat digunakan, yaitu: *landfarming*, *biopile*, dan *composting* yang pada hakekatnya ketiga teknik ini termasuk dalam kategori teknologi bioremediasi. Hingga saat ini boleh dikatakan baru satu surat keputusan ini yang dibuat berkaitan dengan teknologi remediasi.

Pada hakekatnya, berbagai teknologi remediasi dapat dimanfaatkan bagi pemulihan lahan tercemar minyak bumi. Teknologi remediasi ini dapat digolongkan ke dalam empat cara dasar sesuai perubahan sifat yang dialami oleh kontaminan, yaitu cara fisika, kimia, termal, dan biologi. Cara fisika memanfaatkan sifat-sifat fisika dari minyak misalnya sifat kelarutan dan sifat adsorpsi-desorpsi; cara kimia memanfaatkan reaksi-reaksi oksidasi untuk memecah zat-zat beracun; cara termal memanfaatkan sifat-sifat penguapan minyak pada suhu tinggi; cara biologi memanfaatkan sifat biodegradasi minyak oleh mikroorganisme.

Salah satu sifat minyak, yaitu sifat kelarutan, dapat dimanfaatkan untuk membersihkan tanah yang tercemar minyak bumi dengan teknik ekstraksi atau dengan teknik *soil washing* (selanjutnya disebut dengan istilah “cuci lahan”). Baik ekstraksi maupun “cuci lahan”, kedua-duanya bertujuan membersihkan tanah yang tercemar minyak, yaitu dengan cara mengambil minyak dari keterikatannya dengan tanah. Ekstraksi pada umumnya dilakukan dengan menggunakan solven organik, sedang cuci lahan menggunakan surfaktan.

Tulisan ini membahas teknologi remediasi “cuci lahan” bagi pemulihan lahan yang tercemar minyak bumi terutama dari segi teknik/rekayasa (*engineering*) dan regulasi yang menyertainya. Mengingat “cuci lahan” menggunakan surfaktan yang mempunyai toksisitas rendah dan mempunyai sifat mudah terdegradasi, maka “cuci lahan” aman bagi lingkungan dan tidak mengubah sifat-sifat tanah. Harapan penulis, teknologi remediasi dengan teknik “cuci lahan” ini juga menjadi acuan bagi para pengelola lingkungan di industri migas dan dapat juga dituangkan dalam bentuk regulasi. Fotografi pada Gambar 1 menunjukkan suatu contoh hasil remediasi pit dengan teknik “cuci lahan”.

## II. CUCI LAHAN DAN SOIL FLUSHING

Dua istilah, yaitu “cuci lahan” dan *soil flushing* (selanjutnya disebut dengan istilah “kuras lahan”), sering digunakan di dalam teknik remediasi. Keduanya digunakan dalam konteks yang sama yaitu suatu teknik remediasi untuk memulihkan lahan tercemar dengan bantuan bahan kimia. Namun demikian kedua istilah tersebut dibedakan dalam penerapannya; istilah “kuras lahan” digunakan bila pekerjaan remediasi dilakukan secara *in-situ*, sementara istilah “cuci lahan” digunakan bila pekerjaannya dilakukan secara *ex-situ*<sup>(3,4)</sup>. Baik cuci lahan maupun “kuras lahan” bagi remediasi lahan tercemar minyak bumi pada dasarnya penerapannya adalah untuk membersihkan tanah yang tercemar dan mengambil kembali minyak (*oil recovery*) dari tanah atau daur ulang (*recycle*) sebelum dilakukan pengolahan lanjut terhadap tanah yang tercemar tersebut. Konsep daur ulang ataupun pemulihan

merupakan konsep yang memang perlu dilakukan sebagaimana yang dianjurkan di dalam peraturan pemerintah (PP) ataupun buku-buku pedoman mengenai Pengelolaan Limbah Bahan Beracun dan Berbahaya<sup>(5-7)</sup>.

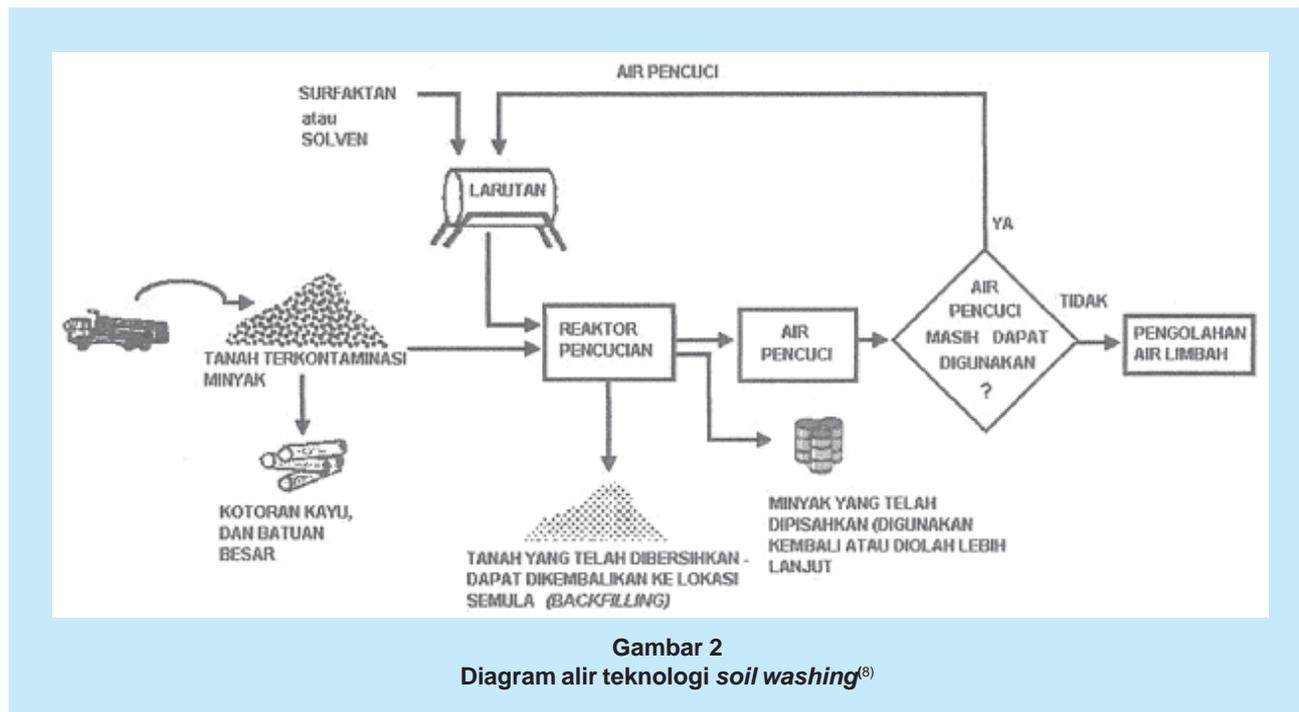
Pada remediasi dengan cara “cuci lahan” diusahakan untuk mengambil kembali kandungan minyak sebesar mungkin yang bercampur dengan tanah yang terkontaminasi tersebut. “Cuci lahan” juga merupakan teknik untuk mengurangi volume (*volume reduction*) limbah atau tanah yang tercemar yang pada tahap berikutnya, bila diperlukan, dilakukan pengolahan lanjutan. Di samping itu “cuci lahan” diperlukan untuk mengubah bentuk limbah atau tanah yang tercemar yang mula-mula sebagai limbah tak-terkendali (*uncontrolled wastes*) menjadi limbah terkendali (*controlled wastes*).

### A. Diagram Alir Cuci Lahan

Diagram alir dari teknik “cuci lahan” disajikan pada Gambar 2<sup>(8)</sup>. Sebagaimana diperlihatkan pada Gambar 2, mula-mula dilakukan proses ekskavasi tanah yaitu dengan mengangkut tanah terkontaminasi ke tempat pengolahannya dengan menggunakan truk. Atau, bila memungkinkan, pengolahan dapat dilakukan di sekitar tanah yang terkontaminasi dan pengangkutan tanah dapat dilakukan dengan menggunakan *conveyor*. Selanjutnya tanah yang mengandung minyak ini dimasukkan ke dalam reaktor, dicampur dengan surfaktan dan air. Pemisahan antara minyak, air, dan tanah dapat dilakukan di dalam reaktor itu, atau campuran ini dapat dipompakan ke dalam bejana pengendapan.



Gambar 1  
Contoh hasil “cuci lahan”, sebelum (kiri) dan sesudahnya (kanan)



Setelah terjadi pemisahan antara ketiga fase tersebut, masing-masing fase dapat dialirkan atau dipompakan ke tempat-tempat yang telah disediakan sesuai dengan fungsinya. Fase air yang digunakan sebagai media pemisahan antara minyak dan tanah dapat digunakan kembali dengan cara memompakannya ke reaktor. Fase padat yang berupa tanah yang telah dibersihkan dapat diangkut, bila persyaratannya dipenuhi, ke tempat semula untuk dilakukan proses *back filling*. Fase padat/semi padat lainnya dalam bentuk minyak dapat ditampung dalam kemasan-kemasan (misalnya drum) untuk digunakan lebih lanjut.

### B. Proses Pemisahan Minyak dari Tanah

Pemisahan minyak dari tanah pada teknik remediasi *cuci lahan* dilakukan dengan bantuan zat kimia, biasanya dalam bentuk senyawa surfaktan, untuk memisahkan keterikatan minyak dari tanah. Dibedakan antara surfaktan sintetik dan biosurfaktan. Surfaktan sintetik yang umum digunakan misalnya LAS (*linear alkyl benzyl sulfonate*) atau SDS (*sodium dodecyl sulfate*). Biosurfaktan diproduksi oleh mikroorganisme dari bahan-bahan alam dan digolongkan dalam beberapa golongan tergantung jenis mikroorganismenya, yaitu glikolipida, fosfolipida, kompleks polisakarida-lipida, lipoprotein-lipopeptida, dan asam-asam lemak terhidroksilasi. Biosurfaktan mempunyai kelebihan dibanding dengan surfaktan

sintetis. Di samping kemudahan dalam produksinya yang berasal dari bahan alam, biosurfaktan mempunyai sifat toksisitas yang lebih rendah dan sifat mudah terdegradasi lebih tinggi dibanding dengan surfaktan sintetik<sup>(9)</sup>.

Keberhasilan surfaktan di dalam membebaskan minyak dari keterikatannya pada tanah ditentukan oleh sifat surfaktan dari keseimbangan gugus hidrofilik dan gugus lipofiliknya (HLB, *Hydrophylic-Lipophylic Balance*). Mekanisme pelepasan minyak dari tanah ditentukan oleh nilai HLB ini<sup>(10)</sup>.

### III. PEMBAHASAN

Dalam skala laboratorium, walaupun tidak secara eksplisit disebut sebagai cuci lahan, percobaan pemisahan minyak pernah dilakukan<sup>(11)</sup>. Percobaan skala laboratorium yang dilakukan dengan menggunakan piala gelas dengan kapasitas sebesar sekitar 1 liter ini dikatakan berhasil memperoleh kembali minyak, dinyatakan sebagai TPH – *total petroleum hydrocarbons*, sebanyak lebih dari 90%. Tentunya keberhasilan dalam mengambil kembali minyak dari keterikatannya dalam tanah ini dalam skala laboratorium perlu ditindaklanjuti dengan perhitungan teknik untuk dapat diterapkan di lapangan. Beberapa parameter yang perlu diperhitungkan dalam rancang bangun cuci lahan di lapangan adalah sebagaimana yang diuraikan di bawah ini.

### A. Konsentrasi Kritis Surfaktan

Keberhasilan teknik cuci lahan di dalam melepaskan minyak dari keterikatannya dengan tanah ditentukan oleh konsentrasi surfaktan. Konsentrasi surfaktan ini akan menentukan batas konsentrasi pembentukan *micelle* atau agregat dari suatu surfaktan. Mekanisme pemisahan minyak dari tanah terjadi dengan dua tahap. Pertama, mekanisme mobilisasi terjadi bila konsentrasi surfaktan di dalam air berada di bawah konsentrasi kritis surfaktan atau sering disebut dengan istilah CMC (*critical micelle concentration*). Fenomena yang terkait dengan mekanisme ini meliputi penurunan tegangan muka dan tegangan antarmuka, penurunan gaya-gaya kapiler, dan *wettability*. Pada saat surfaktan berada pada sistem minyak/tanah, maka surfaktan ini akan menurunkan gaya kapiler tanah yang menahan minyak dengan tanah karena adanya penurunan tegangan antarmukanya.

Kedua, pada konsentrasi surfaktan di atas CMC, maka solubilitas surfaktan di dalam air akan bertambah disebabkan adanya proses agregasi dari *micelle* surfaktan. Dalam hal ini, gugus hidrofobik dari molekul-molekul surfaktan akan saling mengelompok ke dalam struktur *micelle*, sementara gugus hidrofiliknya berada diluar menghadap ke fase air. Pada keadaan semacam ini maka bagian dalam *micelle* akan mempunyai kondisi yang sangat baik bagi molekul-molekul organik yang tidak dapat larut di dalam air, termasuk minyak. Proses masuknya molekul-molekul ke dalam *micelle* disebut sebagai proses pelarutan (lihat Gambar 3). Nilai konsentrasi surfaktan di mana minyak dapat masuk ke dalam *micelle* merupakan fungsi HLB dari surfaktan. Nilai HLB ini dapat diperoleh secara empiris dengan pengujian laboratorium<sup>(12)</sup>.

Konsentrasi surfaktan yang digunakan pada umumnya hanya berkisar antara 50 ppm hingga 2 % di dalam air tergantung pada sifat HLB surfaktan. Pada konsentrasi surfaktan yang tinggi akan terbentuk emulsi minyak di dalam air yang justru akan menyulitkan pemisahannya.

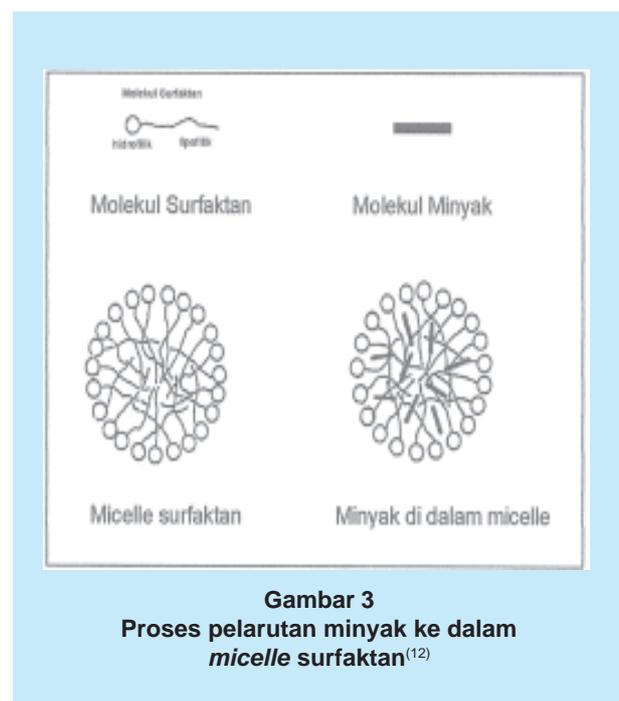
### B. Pemisahan Minyak, Air, dan Tanah

Tahap berikutnya adalah memisahkan fase organik (minyak) dengan fase air dan fase padat/tanah. Berbagai cara dapat dilakukan untuk mempercepat pemisahan ini. Cara yang paling sederhana adalah dengan mendinginkan campuran

tersebut di dalam bejana pengendapan (*settling tank*). Cara ini mempunyai kelemahan karena hanya mengandalkan gaya gravitasi saja dan kemungkinan minyak akan bercampur kembali dengan air menjadi suatu emulsi disebabkan oleh adanya kelebihan surfaktan yang memungkinkan terjadinya emulsi tersebut.

Cara flotasi memakai gelembung udara, sebagaimana teknik yang sering digunakan pada industri perminyakan untuk memisahkan minyak dari air limbah melalui unit proses AFU, *Air Flotation Unit*, dapat pula diterapkan pada teknik remediasi "cuci lahan"<sup>(13,14)</sup>. Cara ini dapat mempercepat pemisahan minyak yang tersebar di dalam kolom air, sekaligus membebaskan minyak dari dalam *micelle* surfaktan. Cara ini memerlukan perhitungan yang cermat untuk mendapatkan diameter gelembung udara (*air bubbles*) yang tepat untuk dapat mengangkat butir-butir minyak ke permukaan air. Salah satu persamaan matematik yang dapat digunakan untuk perhitungan ini adalah Hukum Stokes. Cara yang lebih cepat untuk memisahkan ketiga fase tersebut adalah dengan menggunakan teknik hidrosiklon (*hydrocyclone*) (lihat Gambar 4).

Sebagaimana AFU, hidrosiklon juga sudah banyak digunakan pada industri perminyakan. Hidrosiklon merupakan peralatan sederhana namun mempunyai unjuk kerja yang sangat baik untuk memisahkan fase



zat yang berlainan sifatnya. Peralatan ini tidak mempunyai bagian-bagian mekanik maupun yang bergerak. Peralatan yang berbentuk kerucut (*conical*) ini menggunakan prinsip gaya sentrifugasi untuk memisahkan partikel-partikel. Gaya sentrifugasi ini jauh lebih besar daripada gaya gravitasi sehingga waktu yang diperlukan untuk memisahkan partikel-partikel jauh lebih singkat<sup>(15)</sup>.

### C. Sifat-sifat Tanah dan Konsentrasi Minyak di dalam Tanah

Jenis dan sifat-sifat tanah sangat menentukan keberhasilan dari teknik cuci lahan. Bila kandungan lempung (*clay*) di dalam tanah cukup tinggi, mencapai lebih dari 50%, teknik “cuci lahan” akan lebih sulit dilakukan. Hal ini bukan berarti cuci lahan tidak dapat dilakukan, akan tetapi pelaksanaannya akan menimbulkan biaya yang lebih besar. Untuk menentukan jenis tanah perlu dilakukan uji distribusi partikel.

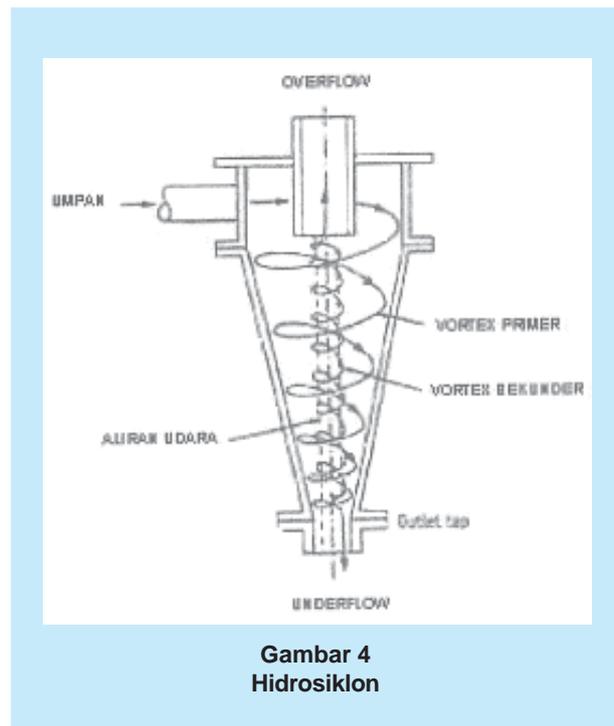
Kandungan humus di dalam tanah yang cukup tinggi akan mempersulit proses “cuci lahan”. Humus merupakan zat organik yang biasa terdapat di dalam tanah sehingga akan menaikkan nilai keseimbangan organik ( $K_{org}$ ). Semakin tinggi harga  $K_{org}$  akan semakin besar retardasi (R) minyak di dalam tanah<sup>(16)</sup>.

Konsentrasi minyak di dalam tanah yang sangat beragam (tidak merata antara satu lokasi dengan lokasi lainnya) juga merupakan faktor keberhasilan teknik cuci lahan. Pencampuran dengan tanah sebelum dilakukan proses pencucian agar diperoleh konsentrasi minyak di dalam tanah yang merata dapat dilakukan untuk menanggulangi hal ini.

### D. Pengolahan Air Sisa Pencucian

Teknik “cuci lahan” umumnya menggunakan sistem sirkulasi air sehingga tidak ada air yang dibuang. Pada saat proses cuci lahan selesai, maka terdapat sisa air yang mengandung minyak dan surfaktan. Air ini perlu diolah terlebih dahulu sebelum dapat dibuang ke lingkungan.

“Cuci lahan” dapat melibatkan penggunaan air hingga 40 – 80 m<sup>3</sup>. Air sebanyak ini dapat ditempatkan di dalam tangki atau kolam. Air di dalam kolam disirkulasikan ke dalam sistem dengan suatu pompa. Sirkulasi dan penempatan air di dalam kolam ini tidak menimbulkan biaya yang berarti, sehingga dapat dikatakan bahwa teknik cuci lahan tidak memerlukan biaya tinggi.



Gambar 4  
Hidrosiklon

### E. Penimbunan Kembali (Backfilling) Tanah Hasil Pencucian

Setelah proses cuci lahan selesai, tanah yang terkontaminasi minyak sudah bersih untuk dapat dikembalikan ke tempat semula dengan cara penimbunan kembali (*backfilling*). Kandungan minyak di dalam tanah sudah mencapai konsentrasi sangat kecil. Tolok ukur konsentrasi minyak dapat mengacu pada regulasi yang ada, misalnya Surat Keputusan Menteri Lingkungan Hidup No. 128 Tahun 2003.

Sisa surfaktan di dalam tanah hanya dalam konsentrasi yang sangat kecil. Pemakaian surfaktan di dalam air hanya sekitar 50 ppm hingga 2%. Dengan menggunakan sistem hidrosiklon dan sentrifugasi, akan diperoleh tanah yang relatif kering sehingga dapat dikembalikan ke tempat semula dengan aman.

### V. KESIMPULAN

Cuci lahan adalah suatu teknologi yang menggunakan likuida (biasanya air yang dapat dicampur dengan bahan-bahan kimia, misalnya surfaktan) dan proses mekanika untuk membersihkan lahan atau tanah yang tercemar. Tanah yang telah dibersihkan dapat diolah lebih lanjut, bila diperlukan, atau dapat dikembalikan ke tempat asal sebagai *backfilling*.

Kegunaan utama dari “cuci lahan” adalah sebagai teknik pengurangan volume dari tanah yang terkontaminasi (*volume reduction technique*), di mana kontaminan terkonsentrasi dalam material dengan massa yang sangat kecil. Umumnya, proses “cuci lahan” dapat mereduksi hingga 90% dari total volume mula-mula yang berarti hanya tinggal 10% yang tertinggal untuk ditangani lebih lanjut.

#### KEPUSTAKAAN

1. 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
2. Greenfeld, M., The A.P.E.X Process TECHNOLOGY, M.G Engineering, A Division of Tzipa Enterprises Ltd., 655 Cedarille Way S.W. Calgary, Alberta, Canada, T2W 2G9.
3. Wilson, D.J, and Clarke, A.N., 1994, Soil Surfactant Flushing/Washing, In: Hazardous Waste Site Soil Remediation, Theory and Application of Innovative Technologies (Wilson, D.J., and Clarke, A.N, editors), pp. 493- 549, Marcel Dekker, Inc., New York.
4. Dennis, R.M., Dworkin, D., and Zupko, A.J., 1994, Soil-Washing Processes for Site Remediation, In: Remediation of Hazardous Waste Contaminated Soils (Wise, D.L., and Trantolo, D.J., editors), pp. 745-789, Marcel Dekker, Inc., New York.
5. Anonymous, 1999, Peraturan Pemerintah No. 18 Tahun 1999, Tentang : Pengelolaan Limbah Bahan Berbahaya dan Beracun.
6. Anonymous, 1999, Peraturan Pemerintah No. 85 Tahun 1999, Tentang : Perubahan Atas Peraturan Pemerintah No. 18 Tahun 1999 Tentang Pengelolaan Limbah Bahan Berbahaya dan Beracun.
7. La Grega, M.D., Buckingham, P.L., and Evans, J.C., 1994, Hazardous Waste Management, McGraw Hill, Inc., New York.
8. Anonymous, 1996, A Citizen’s Guide to Soil Washing, EPA 542-F-96-002, United States Environmental Protection Agency, USA.
9. Pekdemir, T., and Urum, K., 2004, Evaluation of Biosurfaktan for Crude Contaminated Soil Washing, Chemosphere 57, pp. 1139-1150.
10. Deshpande, S., Ahiau, B.J., Wade, D., Sabatini, D.A., Harwell, J.H., 1999, Surfactant selection for enhancing ex-situ soil washing, Water Resource, 33(2), 351-360.
11. Zulkifliani, 2005, Komunikasi Personal.
12. Mulligan, C.N., Yong, R.N., Gibbs, B.F., 2001, Surfactant enhanced remediation of contaminated soil: a review, Eng. Geology, 60, 371-380.
13. Chou, C.C., Ososkov, V., Zhang, L., and Somasundaran, P., 1998, Removal of Nonvolatile Hydrophobic Components from Artificially and Naturally Contaminated Soils by Column Flotation, Journal of Soil Contamination, 7(5):559-571
14. Zhang, L., Somasundaran, P., Ososkov, V., and Chou, C.C., 2001, Flotation of Hydrophobic Contaminations from Soil, Colloids and Surfaces, A: Physicochemical and Engineering Aspects, Elsevier Science B.V., N.Y., pp. 235-246.
15. Erik K. Jørgensen AS, Christina Lindskov, Finn Oemig, Test of soil washing, Environmental Project No. 616, Danish EPA 2001, [www.mst.dk/udgiv/publikationer/2001/87-7944-598-5/html/](http://www.mst.dk/udgiv/publikationer/2001/87-7944-598-5/html/)
16. Dennis, R.M., Dworkin, D., and Zupko, A.J., 1994, Soil Washing Processes for Site Remediation, In: Remediation of Hazardous Waste Contaminated Soils, Wise, D.L., and Trantolo, D.J.(editors), Marcel Dekker, Inc., New York, USA. •