

**OPTIMASI RASIO *SOLID/LIQUID* PADA TEKNIK *SOIL WASHING* TANAH TERKONTAMINASI MINYAK DARI PROSES EKSPLORASI MINYAK BUMI**

***SOLID/LIQUID RATIO OPTIMIZATION OF SOIL WASHING TECHNIQUE FOR CONTAMINATED SOIL FROM CRUDE OIL EXPLORATION PROCESS***

**Agus Jatnika Effendi<sup>1</sup> dan Hadrah<sup>2</sup>**

Program Studi Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Sipil dan Lingkungan  
Institut Teknologi Bandung  
Jl. Ganesha 10 Bandung 40132

<sup>1</sup>jatnika@indo.net.id, <sup>2</sup>Hadrah.hasan@gmail.com,

---

**Abstrak:** *Salah satu alternatif teknik pengolahan tanah terkontaminasi minyak dengan remediasi secara fisik dan kimia adalah dengan teknik soil washing. Soil washing adalah proses reduksi volume atau minimisasi limbah dimana partikel tanah yang mengandung mayoritas kontaminan dipisahkan dari fraksi bulk tanah, atau kontaminan disisihkan dari tanah dengan larutan kimia dan di-recovery dari larutan dalam bentuk substrat padat. Kajian awal yang dilakukan untuk menerapkan teknik soil washing adalah karakteristik tanah tercemar minyak yaitu analisa Oil and Grease, TPH, GCMS, grain size, dan XRD. Tanah dengan tekstur sand, loam dan sandy loam yang mengandung TPH dengan persentase 2,34%, 1,61% dan 4,48% secara berurutan akan diolah dengan teknik soil washing menggunakan surfaktan Tween 80 dan rasio solid/liquid yang sesuai. Hasil variasi konsentrasi larutan surfaktan menunjukkan bahwa konsentrasi surfaktan optimum dalam penyisihan TPH dari ketiga tekstur tanah adalah 0,25% untuk tanah sand, 1% untuk tanah loam dan 0,5% untuk tanah sandy loam. Sedangkan rasio solid/liquid optimum adalah 1:15 (gr/ml) untuk ketiga tekstur tanah. Penyisihan TPH yang tercapai dengan pengadukan selama 10 jam dari masing-masing tekstur tanah adalah 85,32% pada tanah sand, 47,65% pada tanah loam, dan 72,94% pada tanah sandy loam. Koefisien distribusi (Kd) TPH setelah proses soil washing tanah sand, loam dan sandy loam adalah 0,388 g/ml, 0,071 g/ml, dan 0,180 g/ml.*

**Kata Kunci:** *soil washing, surfaktan, rasio solid/liquid, tangki berpengaduk*

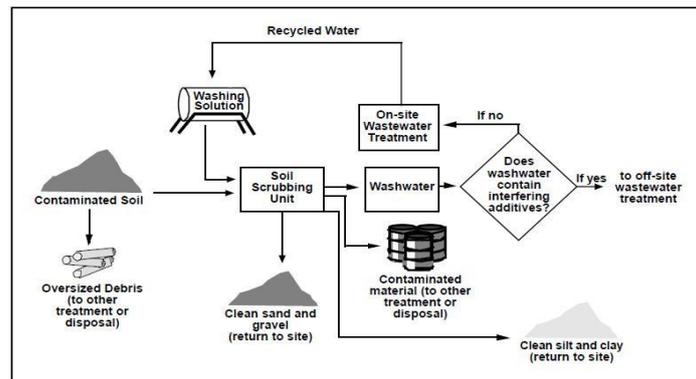
**Abstract:** *Among alternative technique for remediation of contaminated soil is chemical and phsycal technique that is soil washing. soil washing is a volume reduction/waste minimization treatment process where those soil particles which "host" the majority of the contamination are separated from the bulk soil fractions, or contaminants are removed from the soil by aqueous chemicals and recovered from solution on a solid substrate. Pre-study for application of soil washing is examination of soil characteristics including Oil and Grease, TPH, GCMS, grain size and XRD analysis. Sand, Loam, and Sandy Loam with TPH concentration of 2.34%, 1.61% and 4.48% respectively will be treated using Tween 80 surfactant enhanced soil washing method and optimum solid/liquid ratio. Variation in surfactant solution resulting the optimum surfactant concentration of 0.25% for sand, 1% for loam, and 0.5% for sandy loam. Meanwhile optimum solid/liquid ratio for the soils are 1:15 (gr/ml). TPH removal achieved after agitation for 10 hours of three types of soil are 85.32% for sand, 47.65% for loam, dan 72.94% for sandy loam. TPH distribution coefficient (Kd) after soil washing of sand, loam and sandy loam were 0,388 g/ml, 0,071 g/ml, and 0,180 g/ml respectively.*

**Keyword:** *soil washing, surfactant, solid/liquid ratio, agitated vessel*

---

## PENDAHULUAN

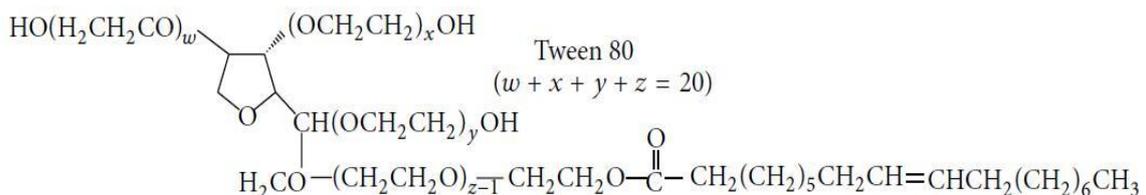
*Soil washing* adalah teknologi pengolahan untuk reduksi volume atau minimisasi limbah berdasarkan proses secara fisik atau kimia (CLAIRE, 2007). Dengan *soil washing* “fisik”, perbedaan ukuran partikel, kecepatan pengendapan, *spesific gravity*, perilaku kimia permukaan dan magnetik yang jarang terjadi digunakan untuk memisahkan partikel-partikel yang mengandung mayoritas kontaminan dari bulk tanah yang mengandung kontaminan lebih sedikit (CLAIRE, 2007). Dengan *soil washing* “kimia”, partikel tanah dibersihkan dengan pemindahan kontaminan dari tanah secara selektif ke larutan. Hal ini dicapai dengan mencampur tanah dengan larutan asam, alkali, complexant, atau pelarut dan surfaktan lainnya. Partikel yang telah bersih kemudian dipisahkan dari larutan dan larutan tersebut diolah untuk menyisihkan kontaminan (contohnya dengan sorpsi menggunakan karbon aktif atau *ion exchange*) (CLAIRE, 2007). Adapun tahapan proses *soil washing* ditunjukkan pada **Gambar 1**.



**Gambar 1.** Proses *Soil Washing* (US EPA, 1996)

Salah satu kajian awal yang perlu dilakukan untuk menerapkan teknik *soil washing* pada tanah tercemar minyak bumi adalah penggunaan surfaktan sebagai senyawa yang mampu melepaskan ikatan kontaminan organik hidrofobik dari tanah dengan menurunkan tegangan permukaan antar fase *solid/liquid* (Vincent O. dkk., 2012). Karena itu, untuk penerapannya perlu dilakukan variasi perlakuan dalam teknik *soil washing* seperti penggunaan surfaktan yang akan menentukan efisiensi penerapan teknik *soil washing* sebagai upaya remediasi tanah tercemar minyak dan variasi *solid/liquid* yang sesuai dimana ketersediaan *liquid* yang lebih besar akan memungkinkan penyisihan kontaminan yang lebih besar pula namun jika jumlahnya berlebihan akan mengakibatkan besarnya beban pengolahan selanjutnya pada fase cair.

Surfaktan merupakan suatu senyawa yang mengandung rantai hidrokarbon panjang dengan ujung hidrofiliknya netral atau ionik. Ujung hidrokarbon dari surfaktan bersifat hidrofobik dan larut dalam zat non polar sedangkan ujung ion atau netral bersifat hidrofilik dan larut dalam air (Othmer dalam Agustina, 2007). Tween 80 (*polyoxyethylene* (20) sorbitan *monooleate*) merupakan surfaktan nonionik. Surfaktan dengan gugus hidrofiliknya berupa *polyoxyethylene* dan sorbitan biasa dikenal dengan nama tween. Pada tween 80 gugus hidrofobik yang terikat adalah monooleat (Moroi, 1992 dalam Agustina, 2007).



**Gambar 2.** Struktur Tween 80 (Sagarika Mohanty, 2013)

Pada penelitian ini akan dilakukan pengkajian teknik *soil washing* pada tanah tercemar minyak menggunakan tangki berpengaduk dan mempelajari bagaimana pengaruh variasi rasio

*solid/liquid* terhadap efisiensi penyisihan kontaminan hidrokarbon atau TPH pada tanah. Penggunaan larutan surfaktan sebagai bahan pelarut pada proses *soil washing* akan membantu proses desorpsi kontaminan dari tanah dan peningkatan volume larutan surfaktan dalam rasio *solid/liquid* akan meningkatkan persen penyisihan kontaminan karena akan memungkinkan transfer massa yang lebih besar pada tanah.

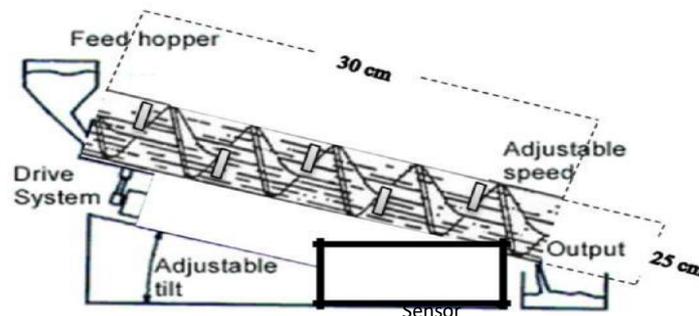
Tujuan utama pengadukan adalah membantu proses pencampuran antar fase dan membantu transfer masa antar fase atau antar permukaan. Jika sebuah sistem terdiri dari dua atau lebih komponen dimana konsentrasi pada komponen tersebut bervariasi dari satu titik dengan titik lainnya, terdapat suatu kecenderungan terjadi perpindahan masa, sehingga memperkecil perbedaan konsentrasi di dalam sistem. Perpindahan suatu konstituen dari suatu area dengan konsentrasi tinggi ke area dengan konsentrasi yang lebih rendah disebut transfer masa.

## METODOLOGI PENELITIAN

Lokasi penelitian ini dilakukan di Laboratorium Penelitian Kualitas Air FTSL ITB. Waktu penelitian akan berlangsung selama 6 bulan yaitu dari bulan Januari 2015 sampai Juni 2015.

Reaktor yang digunakan untuk melakukan pencampuran tanah dan larutan surfaktan sebagai percobaan *soil washing* pada penelitian ini adalah tangki berpengaduk (**Gambar 2**). Bagian-bagian pada reaktor tersebut adalah:

- *Drive System* berupa dinamo dengan kecepatan putar hingga 250 rpm
- *Impeller* berupa *screw*
- Sensor untuk mendeteksi kecepatan putar *impeller* pada reaktor
- Tabung sebagai wadah dalam pencampuran *solid* dan *liquid*
- Penyangga tabung berupa kerangka besi yang dilengkapi dengan pengatur kemiringan



**Gambar 3.** Denah Tangki Berpengaduk

Adapun bahan yang digunakan dalam pengolahan dengan metode *soil washing* adalah surfaktan berjenis nonionik yaitu Tween 80.

## Studi Pendahuluan

Penelitian ini akan diawali dengan uji pendahuluan pada skala laboratorium untuk melihat efektivitas surfaktan berdasarkan konsentrasi larutan surfaktan dalam menurunkan parameter TPH pada tanah tercemar minyak. Uji *jartest* merupakan salah satu uji pendahuluan yang dapat diterapkan di laboratorium untuk melihat potensi *soil washing* sebagai alternatif teknologi yang akan diterapkan (EPA, 1991) (Edris Madadian dkk., 2012). Adapun prosedur uji pendahuluan tersebut adalah sebagai berikut:

1. Tanah terkontaminasi minyak sebanyak 30 gram dicampurkan dengan larutan surfaktan yang terdiri dari 5 variasi konsentrasi yaitu 0,25%, 0,5%, 0,75%, 1% dan 1,25% (v/v) ke dalam beaker berukuran 1000 ml. Adapun untuk uji awal digunakan perbandingan *solid/liquid* sebesar 1:15.
2. *Beaker* yang berisi sampel tanah dan larutan surfaktan kemudian di aduk dengan menggunakan alat *jartest* yang diatur dengan kecepatan putar sebesar 200 rpm selama 5 jam.

- Setelah pengadukan, campuran tanah dan larutan surfaktan di dalam *beaker* diendapkan selama 24 jam dan untuk tanah sampel 2 (*loam*), setelah diendapkan dilakukan pemisahan tanah dari larutan menggunakan *centrifuge* pada kecepatan 6000 rpm selama 15 menit.
- Selanjutnya dilakukan pengukuran kadar TPH dari masing-masing tanah dan dihitung parameter koefisien distribusi (Kd) TPH yang dapat dicapai dari penggunaan surfaktan tersebut. Perhitungan koefisien distribusi tersebut menggunakan **Persamaan 1**:

$$Kd = \frac{C_l}{C_s} \quad (1)$$

Dimana Kd adalah koefisien distribusi,  $C_l$  adalah kandungan TPH pada fase *liquid* atau pada larutan surfaktan dan  $C_s$  adalah kandungan TPH pada fase *solid* atau pada tanah (EPA, 1991).

### Proses Soil Washing

Setelah diperoleh parameter koefisien distribusi (Kd) dari variasi konsentrasi larutan surfaktan selanjutnya dilakukan pencampuran larutan surfaktan dan tanah terkontaminasi minyak dengan rasio *solid/liquid* yang bervariasi yaitu 1:10; 1:12,5; 1:15; 1:17,5 dan 1:20 (gr/ml). Setelah diperoleh rasio *solid/liquid* optimum, sampel akan diaduk menggunakan tangki berpengaduk (**Gambar 3**) selama 10 jam dan dilakukan pengambilan sampel setiap satu jam untuk pengukuran TPH kemudian selanjutnya dibuat plot penyisihan TPH per satuan waktu dari proses pengolahan tersebut. Campuran *solid/liquid* dari reaktor yang telah diaduk selama 10 jam kemudian didiamkan selama 24 jam (1 hari) untuk memisahkan padatan dan cairan pelarut.

Peninjauan optimasi proses dilakukan dengan pengukuran jumlah parameter-parameter kontaminan pada tanah. Untuk mengetahui TPH (*Total Petroleum Hydrocarbon*) removal pada tanah tercemar minyak, dilakukan perhitungan menggunakan rumus pada **Persamaan 2**.

$$Y = \frac{C_0 - C_{\text{remained}}}{C_0} \quad (2)$$

Dimana Y adalah *TPH removal* (%),  $C_{\text{remained}}$  adalah konsentrasi petroleum (mg/kg) yang masih berada di tanah setelah pengolahan dan  $C_0$  adalah konsentrasi petroleum awal (mg/kg) (Qixing Zhou dkk., 2005). Pengukuran *Oil and Grease* dan TPH pada tanah tercemar minyak dilakukan dengan menggunakan standard EPA 9071B.

Proses *soil washing* merupakan teknik remediasi yang bertujuan untuk memisahkan kontaminan dari tanah ataupun memperkecil volume kontaminan sehingga dapat memperkecil beban pengolahan pada proses selanjutnya. Efektivitas proses *soil washing* tergantung pada parameter proses yaitu metode pemisahan seperti sistem *batch* atau kolom, tipe pelarut dan konsentrasi pelarut, waktu pemisahan, rasio *solid/liquid* dan karakteristik kimia-fisik tanah seperti pH, kandungan bahan organik, distribusi ukuran partikel juga tipe kontaminan dan konsentrasinya (Lim TT dkk., 2004 dalam Yunhee Lee dan Seong W.O., 2012). Perbedaan jenis tanah dan kontaminan yang akan diolah pada proses ini akan menentukan besarnya efisiensi proses *soil washing* seperti yang dijelaskan oleh Robin Semer dan Krishna R. Reddy (1995) yang telah melakukan uji *pilot plant* untuk mengolah tanah tercemar berjenis *sandy loam* dengan pelarutan menggunakan tangki berputar selama 20 jam pada kecepatan putar 20 rpm.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Karakteristik Tanah Tercemar Minyak

Pengukuran awal kandungan TPH maupun *Oil and Grease* dari tanah tercemar minyak menunjukkan variasi jumlah kontaminan dari ketiga jenis tanah. Dari hasil uji grain size diketahui bahwa tanah tercemar minyak yang akan diolah berjenis *sand*, *loam* dan *sandy loam* dimana jenis tersebut memiliki komposisi pasir, lanau dan lempung yang berbeda-beda. Adapun menurut persentase kandungan *fine grained* (*silt* dan *clay*) dari yang terbesar adalah *loam*, *sandy loam* dan *sand*. Teknik *soil washing* akan lebih sulit dilakukan jika tanah yang akan diolah mengandung *fined-grained* yang tinggi (30%-35%) (Pearl and Wood, 1994 dalam CLAIRE, 2007). Hal

tersebut dikarenakan kontaminan akan lebih banyak berikatan dengan partikel yang lebih kecil yaitu *silt* dan *clay* (*fine-grained*), selanjutnya partikel-partikel kecil tersebut akan berikatan dengan partikel yang lebih besar yaitu *coarse-grained* (*sand* dan *gravel*). Luas permukaan spesifik *silt* dan *clay* yang lebih besar akan memungkinkan jumlah kontaminan yang teradsorpsi di permukaan partikel tanah tersebut juga akan lebih banyak dari *sand* dan *gravel*. Karena itu, proses *soil washing* juga dapat ditujukan untuk memisahkan tanah berdasarkan fraksi ukuran butir tanah untuk memperkecil volume pengolahan.

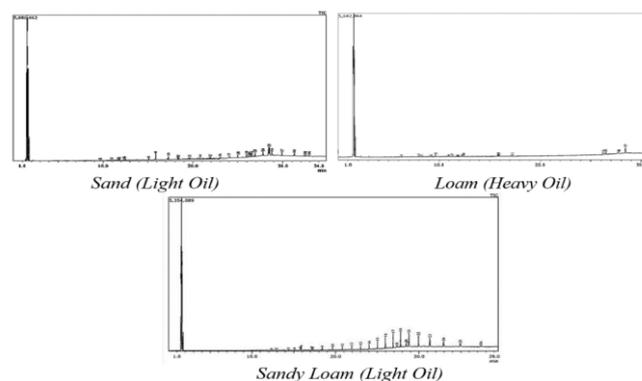
**Tabel 1.** Kadar TPH dan *Oil and Grease* pada Tanah Tercemar Minyak

No	Sampel	Parameter	Hasil Uji (%)
1	<i>Sand (Light Oil)</i>	<i>Oil and Grease</i>	5,07
		TPH	2,34
2	<i>Loam (Heavy Oil)</i>	<i>Oil and Grease</i>	2,99
		TPH	1,61
3	<i>Sandy Loam (Light Oil)</i>	<i>Oil and Grease</i>	10,01
		TPH	4,48

Pembacaan senyawa-senyawa organik dari uji GCMS pada ketiga jenis tanah tidak menunjukkan adanya senyawa BTEX yang umumnya terdapat pada *crude oil*. Hal tersebut dikarenakan senyawa BTEX bersifat volatil sehingga kemungkinan telah menguap selama proses penyimpanan maupun pengangkutan tanah dari lokasi penambangan.

Hasil uji GCMS pada ketiga jenis sampel menunjukkan bahwa kandungan senyawa organik yang terdapat pada tanah *sand* (*light oil*) adalah senyawa organik dengan rantai karbon tunggal (alkana) golongan *saturated*, namun senyawa yang terkandung memiliki rantai karbon yang cukup besar yaitu berjumlah 12 sampai 54.

Tanah *loam* (*heavy oil*) mengandung senyawa sulfur yang mencirikan bahwa polutan yang terkandung merupakan *heavy oil* dimana kandungan sulfur merupakan senyawa yang paling polar dari komponen *crude oil* lainnya. Adapun jumlah karbon pada senyawa-senyawanya adalah 10-54.



**Gambar 4.** Grafik Pembacaan Senyawa Organik pada Tanah

Hasil GCMS tanah *sandy loam* (*light oil*) juga menunjukkan kandungan senyawa yang memiliki rantai karbon berjumlah 13 sampai 54, namun senyawa-senyawa yang terkandung juga merupakan senyawa dengan ikatan rantai karbon tunggal. Perbedaan dari ketiga jenis sampel ini berupa kandungan *heavy oil* pada sampel *loam*, dimana *heavy oil* adalah jenis *crude oil* yang berkualitas lebih rendah dengan ciri fisik densitas yang lebih besar sehingga resistensi aliran atau viskositas juga lebih besar sehingga memungkinkan kelarutan pada air akan lebih sulit.

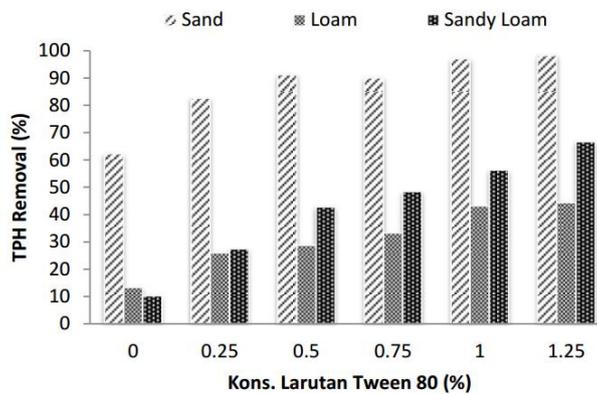
Kuarsa merupakan mineral primer tanah. Mineral primer umumnya mempunyai ukuran butir fraksi pasir (2-0,055 mm). Sedangkan kaolinit adalah mineral sekunder dimana ukuran fraksi mineral sekunder adalah kecil (<2 $\mu$ ). Kaolinit adalah salah satu struktur utama mineral lempung.

**Tabel 2.** Komposisi Mineral pada Tanah Tercemar Minyak

No	Sampel	Komposisi Mineral
1	<i>Sand (Light Oil)</i>	Kuarsa ( $\text{SiO}_2$ )
2	<i>Loam (Heavy Oil)</i>	Kuarsa ( $\text{SiO}_2$ )
		Kaolinit ( $\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_2$ )
3	<i>Sandy Loam (Light Oil)</i>	Kuarsa ( $\text{SiO}_2$ )
		Kaolinit ( $\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_2$ )

### Pengaruh Variasi Konsentrasi Surfaktan

Penambahan konsentrasi larutan surfaktan menunjukkan adanya peningkatan penyisihan TPH pada masing-masing tanah. Konsentrasi surfaktan selama pembentukan misel disebut Konsentrasi Kritik Misel (KKM).

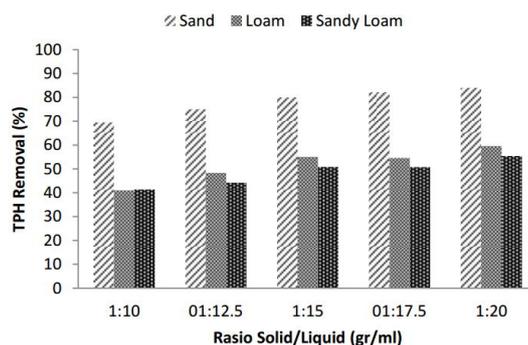


**Gambar 5.** Grafik pengaruh variasi konsentrasi surfaktan terhadap penyisihan TPH tanah

Ketika konsentrasi surfaktan mencapai KKM, molekul surfaktan dapat mengalami agregasi dengan cepat untuk membentuk agregasi dengan order koloid berjumlah 20 sampai 200 ion atau molekul (C.C. West dkk., 1992 dalam Dengyu Li dkk., 2015). Kehadiran surfaktan, dengan melekatkan HOC pada lingkup mikro hidrofobik misel, mengakibatkan peningkatan solubilitas TPH sebagai komponen hidrofobik sehingga terjadi penyisihan senyawa organik hidrofobik atau Hydrophobic organic compounds (HOCs). Pemilihan konsentrasi surfaktan untuk selanjutnya dilakukan variasi *rasio solid/liquid* adalah 0,25% pada tanah *sand*, 1% pada tanah *loam* dan 0,5% pada tanah *sandy loam*. Pada variasi awal konsentrasi larutan surfaktan digunakan perbandingan rasio *solid/liquid* sebesar 1:15.

### Pengaruh Variasi Rasio Solid/Liquid

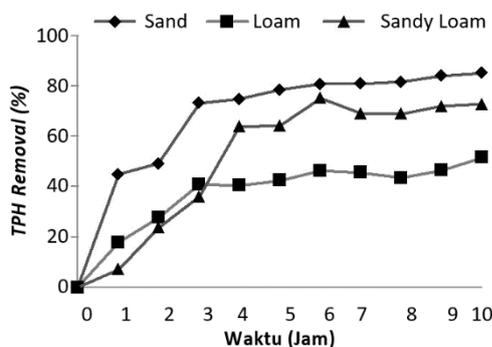
Seperti halnya dengan penambahan konsentrasi surfaktan, penambahan volume *liquid* juga meningkatkan jumlah kontaminan yang terlarut sehingga penyisihan TPH semakin besar. Peningkatan fase *liquid* menyebabkan transfer masa yang lebih besar karena dua faktor: peningkatan area kontak antar fase dan peningkatan gradien konsentrasi (Aurora S. dkk., 2005). Peningkatan efisiensi berbeda tergantung ukuran partikel tanah dan rasio *S/L* (Yunhee Lee dkk., 2012). Adapun penyisihan TPH pada masing-masing tanah menunjukkan efisiensi yang optimum dengan penggunaan rasio *solid/liquid* sebesar 1:15.



**Gambar 6.** Grafik pengaruh variasi rasio solid/liquid terhadap penyisihan TPH tanah

### Penyisihan TPH per Satuan Waktu

Untuk mengetahui nilai konstanta laju penyisihan TPH pada tanah sand, loam dan sandy loam, dilakukan pengukuran TPH per satuan waktu dari proses running dengan tangki berpengaduk.



**Gambar 7.** Grafik penyisihan TPH pada tanah sand, loam, dan sandy loam per satuan waktu

Penyisihan TPH pada tanah *sand* dan *loam* menunjukkan peningkatan TPH *removal* yang signifikan di awal proses yaitu pada jam ke-1 hingga jam ke-3 yang diikuti dengan tingkat penyisihan yang cukup stabil pada waktu selanjutnya, sehingga bentuk grafik cukup tajam kemudian mendatar (**Gambar 7**). Pada tanah *sand*, proses desorpsi yang cepat di awal waktu pengadukan dikarenakan jenis mineral pada tanah *sand* merupakan mineral kuarsa yang tidak reaktif sehingga pengikatan kontaminan yang hanya merupakan ikatan van der Waals yaitu dikarenakan kedekatan antarmolekul non-polar dapat terlepas dengan mudah dengan adanya larutan surfaktan yang mengikat sisi non-polar kontaminan dengan bagian hidrofobik molekul surfaktan yang juga non-polar.

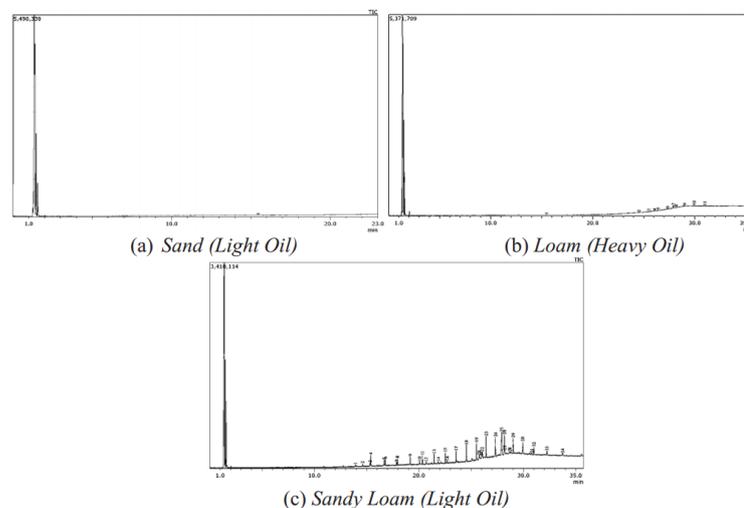
Pada tanah *loam*, penyisihan kontaminan sangat kecil dikarenakan adanya mineral kaolin pada fraksi clay yang mengikat kontaminan lebih kuat dikarenakan adanya silikat pada permukaan kaolin yang lebih reaktif dari kuarsa serta kemampuan untuk menyerap air lebih besar sehingga mineral ini dapat terkontaminasi oleh larutan polar maupun non-polar. Penyisihan yang cukup signifikan di awal waktu dikarenakan dominasi butiran fraksi *clay* dan *silt* yang kecil (<0,075 cm) sehingga pada saat pengadukan terjadi dispersi dan suspensi padatan yang lebih cepat dibandingkan dengan butiran yang lebih kasar seperti *sand*. Oleh karena itu, meskipun laju penyisihannya paling kecil, namun waktu penyisihan optimum pada tanah *loam* sama dengan pada tanah *sand* yaitu pada jam ke-3.

Penyisihan yang lebih bertahap terjadi pada tanah *sandy loam* dikarenakan adanya butiran kapur sebagai komponen organik yang dapat mengganggu proses pelarutan tanah dengan larutan surfaktan. Komponen organik ini dapat mengadsorpsi surfaktan sehingga mengurangi misel yang

berperan dalam proses pengikatan kontaminan hidrokarbon dari permukaan tanah. Komponen organik seperti kapur juga dapat mengikat kontaminan dengan lebih kuat dari mineral kuarsa karena affinitas yang lebih besar sesama material organik. Selain itu, fraksi halus (*silt* dan *clay*) serta fraksi kasar (*sand*) pada tanah *sandy loam* cukup seimbang sehingga proses pengadukan lebih lama untuk mencapai kondisi homogen.

Peningkatan jumlah TPH pada fase *liquid* dengan penambahan waktu pengadukan menunjukkan semakin banyak TPH yang tersisih pada fase cair dengan semakin lama waktu pengolahan ketiga jenis tanah.

Nilai koefisien distribusi (Kd) TPH pada tanah *sand*, *loam*, dan *sandy loam* setelah dilakukan proses *soil washing* selama 10 jam adalah 0,388 g/ml, 0,071 g/ml, dan 0,180 g/ml. Karena volume pengolahan yang sama, maka perbedaan nilai koefisien distribusi pada ketiga jenis tanah menunjukkan seberapa banyak kontaminan TPH yang mampu tersisih dari proses *soil washing* sehingga semakin tinggi nilai koefisien distribusi tersebut menunjukkan semakin banyak kontaminan TPH yang berpindah pada fase *liquid*.



**Gambar 8.** Grafik analisa GCMS tanah setelah proses *soil washing*

Setelah proses *soil washing* pada ketiga jenis tanah dilakukan uji GCMS untuk melihat kandungan kontaminan pada tanah. Terdapat beberapa perbedaan pada hasil GCMS akhir ketiga tanah dimana tanah *sandy loam* masih mengandung jenis kontaminan yang sama sehingga penurunan kandungan kontaminan hanya digambarkan berdasarkan pengurangan jumlah TPH dari metode gravimetri sedangkan jenis kontaminan masih sama seperti semula. Adapun kontaminan pada tanah *sand* hanya asam sulfur dan kontaminan lain tidak terdeteksi pada uji akhir sehingga kemungkinan telah tersisih dari permukaan tanah melalui desorpsi menggunakan larutan surfaktan sedangkan pada tanah *loam* beberapa jenis kontaminan dengan jumlah rantai karbon yang pendek seperti C<sub>10</sub>-C<sub>15</sub> tidak muncul pada hasil GCMS akhir yang menunjukkan telah tersisihnya kontaminan tersebut karena pelepasan kontaminan yang lebih mudah dibanding kontaminan dengan rantai karbon yang besar lain yang masih berada pada tanah *loam*.

## KESIMPULAN DAN SARAN

Aplikasi teknik *soil washing* pada ketiga tekstur tanah terkontaminasi minyak bumi menunjukkan terjadinya penurunan TPH pada tanah *sand*, *loam* dan *sandy loam* setelah dilakukan pengadukan dengan menggunakan larutan surfaktan Tween 80. Variasi rasio *solid/liquid* mengakibatkan adanya peningkatan penyisihan TPH pada ketiga jenis tanah namun volume *liquid* optimum tidak berbeda dari ketiga tekstur tanah sehingga rasio *solid/liquid* sebesar 1:15 dapat digunakan untuk *sand*, *loam* maupun *sandy loam*. Hal ini dikarenakan masing-masing tekstur tanah mengandung kontaminan dengan jumlah yang berbeda-beda. Persen penyisihan TPH terbesar terjadi pada *sand* yaitu 85,32% sedangkan penyisihan pada tanah *loam* dan *sandy loam*

adalah 47,65 % dan 72,94%. Koefisien distribusi (Kd) TPH setelah proses *soil washing* pada tanah *sand*, *loam*, dan *sandy loam* adalah 0,388 g/ml, 0,071 g/ml, dan 0,180 g/ml.

Teknik *soil washing* yang dilakukan pada penelitian ini merupakan studi awal yang dilakukan berdasarkan variasi konsentrasi larutan surfaktan Tween 80 dan rasio *solid/liquid*. Studi untuk memperoleh kajian teknik *soil washing* berdasarkan jenis kontaminan spesifik perlu dilakukan karena sifat kontaminan yang berbeda-beda dan perlu adanya kajian variasi temperatur larutan ataupun kecepatan putar pengadukan sehingga diperoleh kondisi yang lebih optimum. Selain itu, kajian parameter TPH akan lebih baik bila dilakukan dengan uji yang lebih sensitif sehingga parameter pencemar yang terbaca lebih spesifik serta dengan kuantitas yang lebih tepat.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Agustina, FERIA TIA. (2007): *Ekstraksi Fe (II)-1, 10-Fenantrolin Menggunakan Metode Cloud Point dengan Surfaktan Tween 80*. Skripsi Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Sebelas Maret, 11-15.
- Aurora Silva, Cristina Delerue-Matos, A. Fiuza. (2005): Use of Solvent Extraction to Remediate Soils Contaminated with Hydrocarbons, *Journal of Hazardous Materials, Elsevier*, **124**, 224-229.
- CLAIRE (Contaminated Land Application in Real Environment). (2007): Understanding Soil Washing, *Technical Bulletin*, **13**, 1-4.
- Dengyu Li, Lina Sun, and Meihua Lian. (2015): Application of Surfactants in Soil Remediation, *Journal of Chemical and Pharmaceutical Research*, **3**, 364-366.
- Edris Madadian, Saeid G., Leila A., Masoomah A., and Jafar S. (2012): The Application of Soil Washing for Treatment of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons Contaminated Soil : A Case Study in a Petrochemical Complex, University of Tehran, Iran, *Wiley Online Library*, **33**, 107-113.
- Environmental Protection Agency. (1998): N-Hexane Extractable Material (HEM) for Sludge, Soil and Solid Sample, *US EPA Standard Method 9071 B*.
- Environmental Protection Agency. (1996): A Citizen's Guide to Soil Washing, *Technology Fact Sheet, EPA*, **2**, 542.
- Mari Shin. (2004): *Surfactant/Ligand Systems for The Simultaneous Remediation of Soil Contaminated With Heavy Metals and Polychlorinated Biphenyls*. Thesis of Departement of Bioresource Engineering, McGill University, 21.
- Qixing Zhou, Fuhong Sun, Rui Liu. (2005): Joint Chemical Flushing of Soils Contaminated with Petroleum Hydrocarbons, *International Journal of Environment, Elsevier*, **31**, 835-839.
- Robin Semer and Krishna R. Reddy. (1995): Evaluation of Soil Washing Process to Remove Contaminants from a Sandy Loam, *Journal of Hazardous Material, Elsevier*, **45**, 45-57
- Sagarika Mohanty, Jublee Jasmine, and Suparna Mukherji. (2013): Practical Considerations and Challenges Involved in Surfactant Enhanced Bioremediation of Oil, *Biomed Research International, Hindawi Publishing Corporation*, **1**, 1-16.
- Vincent O. A., Steven O., Felix E., Weltime O. Medjor, Imohimi O. Asia, Osaro K. I. (2012): Surfactant Enhanced Soil Washing Technique and Its Kinetics on the Remediation of Crude Oil Contaminated Soil. *The Pacific Journal of Science and Technology*, **13**, 443-456.
- Yunhee Lee, Seong-Wook Oa. (2012) : Desorption Kinetics and Removal Characteristics of Pb-Contaminated Soil by the Soil Washing Method : Mixing Ratio and Particle Size, *Environmental Engineering Research, Korea*, **3**, 145-150