

REMEDIASI TUMPAHAN MINYAK MENGGUNAKAN METODE SOIL WASHING DENGAN OPTIMASI KONDISI REAKSI

REMEDIATION OF OIL SPILL USING SOIL WASHING METHOD BY OPTIMIZING REACTION CONDITION

^{1*}Agus Jatnika Effendi, dan ²Narita Indriati

^{1,2} Program Studi Teknik Lingkungan

Fakultas Teknik Sipil dan Lingkungan, Institut Teknologi Bandung

Jl Ganesha 10 Bandung 40132

^{*1}jatnika@indo.net.id, ²indriatinarita@gmail.com

Abstrak: Pengembangan proses fisika-kimia, Soil Washing, masih jarang diaplikasikan pada setiap perusahaan-perusahaan di Indonesia. Kebanyakan dari mereka masih menggunakan proses biologi. Proses leaching merupakan salah satu metode alternative yang dapat diaplikasikan secara ekonomi karena tidak membutuhkan tambahan energy. Proses tersebut menggunakan surfaktan tween80 sebagai leaching agent untuk penyisihan TPH (Total Petroleum Hydrocarbon). Reaktor yang digunakan adalah leaching column berbahan dasar plexy glass yang memiliki ketinggian 100cm dan berdiameter 6cm. Pengukuran dilakukan dengan memvariasi konsentrasi surfaktan dan menentukan nilai koefisien distribusi. Diketahui kandungan TPH awal pada karakteristik, yaitu light oil (sand) 2,34%, heavy oil (loam) 1,61% dan light oil (sandy loam) 4,48%. Konsentrasi surfaktan optimum untuk tanah light oil (sand), heavy oil (loam), light oil (sandy loam) adalah 1,5%; 0% dan 0,5%. Berdasarkan hasil pengukuran Kd setelah proses Soil Washing diketahui bahwa nilai Kd optimum pada adalah tanah sand, yaitu sekitar 110,382 sedangkan untuk tanah light oil (sandy loam) dan heavy oil (loam), adalah dan 10,230 dan 27,183. Persentase COD tanah yang terleaching pada light oil (sand) sementara heavy oil (loam), light oil (sandy loam) adalah 74,8%; 63% dan 45%. TPH tanah yang tersisa adalah heavy oil (loam) 5009.2 mg/kg, light oil (sandy loam) 24490 mg/kg dan light oil (sand) 8704,4 mg/kg.

Kata kunci: Leaching Column, Total Petroleum Hydrocarbon (TPH), Tween 80

Abstract : The development of physicochemical process, Soil Washing, is still seldom applied in every company especially in Indonesia. Usually they still use biological process. Leaching process is one of alternative treatment that can be applied economically because it doesn't need additional energy. This process used a surfactant Tween80 as Leaching Agent for TPH removal. The used reactor, leaching column based on plexyglass which had a height of 100 cm and a diameter of 6cm. Measurements were performed by varying the concentration of surfactant and Distribution Coefficient (Kd). It was known that the content of the initial TPH in soil characteristics, namely light oil (sand) 2.34%, heavy oil (loam) 1.61% and light oil (sandy loam) 4.48%. The optimum of concentrations for light oil (sand), heavy oil (loam), light oil (sandy loam) are 1.5%; 0% dan 0.5%. Based on the result of Distribution Coefficient (Kd) after Soil Washing process was known that the optimum Kd was Sand (light oil) 110,382, loam (heavy oil) 27,183 and sandy loam (light oil) 10.230. Percentage of leached Soil COD in light oil (sand), heavy oil (loam), light oil (sandy loam) were 74.8%; 63% and 45%. Then, TPH measurement result left in the soil are heavy oil (loam) 5009.2 mg/Kg, light oil (sandy loam) 24,490 mg/Kg and light oil (sand) 8704.4 mg/Kg.

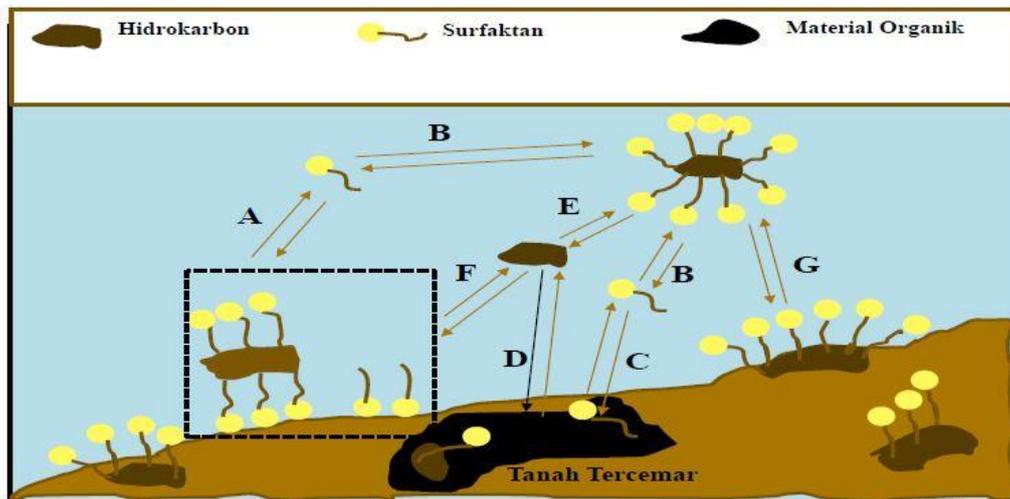
Key words: Leaching Column, Total Petroleum Hydrocarbon (TPH), Tween 80

PENDAHULUAN

Dari waktu ke waktu kebutuhan minyak bumi terus mengalami peningkatan seiring dengan tingginya kebutuhan energi sebagai akibat dari kemajuan teknologi dan kebutuhan hidup manusia, sehingga memperbesar potensi pencemaran oleh minyak bumi dari hasil eksplorasi dan eksploitasi minyak bumi. Kegiatan eksplorasi dan eksploitasi produksi minyak bumi cenderung melibatkan resiko besar bagi lingkungan. Tumpahan minyak dan kebocoran pipa dalam jumlah, luas dan kondisi tertentu, akan terjebak di dalam pori tanah/ partikel tanah. Fraksi minyak tersebut dapat saja menguap ke udara bercampur dengan tanah dan air tanah maka diperlukan *treatment* khusus untuk memisahkan minyak dari medianya, yaitu tanah. Metode yang digunakan dalam

penelitian ini adalah metode *soil washing*, dimana dalam prosesnya menggunakan bahan kimia sebagai pendegradasinya pada kondisi tertentu. Metode ini memiliki efisiensi >90% (Khan dkk., 2004) Selain itu, metode *Soil Washing* mampu diterapkan untuk pengolahan tanah terkontaminasi minyak dalam waktu yang singkat serta mampu mengolah tanah tercemar dengan beban pengolahan yang besar. *Soil Washing* juga merupakan metode yang ramah lingkungan mulai dari proses awal hingga tanah dikembalikan ke *site*.

Soil washing akan lebih tepat jika digunakan untuk tanah yang memiliki konduktivitas hidrolis (konstanta permeabilitas) tinggi, seperti pasir (*sand*) dan krikil (*gravel*). Konduktivitas hidrolis yang diharapkan setidaknya 10-5 cm/s dan lebih baik lagi jika berada lebih dari 10-3 cm/ (Doug dkk., 2006). Kandungan *silt* dan *clay* yang tinggi dapat menurunkan efisiensi penyisihan hidrokarbon oleh pelarut. Pelarut/ larutan surfaktan mungkin tidak akan menyisihkan seluruh kontaminan yang terikat di dalam gumpalan tanah dengan sempurna tetapi setidaknya dapat mengurangi (Doug dkk., 2006). Menurut Xiao dkk., 2015 dan Chong dkk., 2014, surfaktan sangat berpengaruh besar di dalam proses desorpsi minyak dari sedimen. Di dalam campuran tanah tercemar dan air, surfaktan akan terbentuk sebagai misel, monomer hemimisel dan admisel yang bergantung pada konsentrasi surfaktan seperti pada **Gambar 1**. Migrasi minyak atau senyawa hidrokarbon ke dalam misel surfaktan atau monomer dapat meningkatkan kelarutan, sehingga akan menyempurnakan proses pemisahan.



Gambar 1. Proses Pengikatan Hidrokarbon oleh Surfaktan di dalam Tanah (Chong dkk., 2014) (A)Penyerapan surfaktan pada permukaan material anorganik, (B) Formasi misel (C) Penyerapan surfaktan pada material organik, (D) Partisi hidrokarbon di antara air dan tanah, (E) Partisi hidrokarbon antara air dan misel dan (F) Pelarutan hidrokarbon

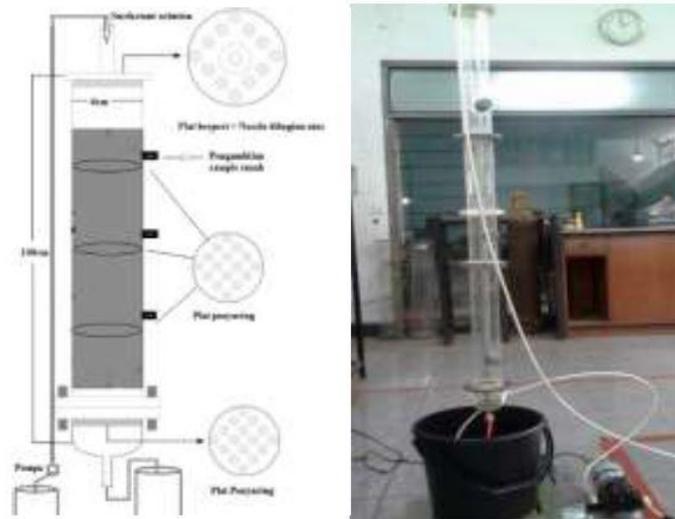
METODOLOGI

Proses *Soil Washing* yang dipilih pada penelitian ini adalah proses *heap leaching* menggunakan *column*. Metode *heap leaching* dapat dikatakan lebih sederhana, murah dan hemat energi jika dibandingkan dengan metode lainnya. Pada penelitian pendahuluan akan dilakukan penentuan konsentrasi surfaktan optimum dan dilanjutkan dengan penentuan kinetika penyisihan COD tanah.

Penelitian ini dilakukan berdasarkan urutan tahapan kerja, mulai dari studi literatur, persiapan alat dan bahan penelitian, karakterisasi awal dan pengolahan dengan melakukan beberapa optimasi, yaitu variasi konsentrasi surfaktan penentuan nilai K_d pada skala laboratorium dan melakukan variasi *flowrate* dan penentuan kinetika reaksi pada skala semipilot. Proses *Soil Washing* menggunakan proses *leaching* menggunakan *column*. Berikut adalah beberapa alat

pendukung pada reaktor *Leaching Column* sesuai pada **Gambar 2** (Jeffrey dkk., 2010; Xia dkk., 2000)

- Pompa : sebagai pengatur debit aliran surfaktan yang masuk
- Plat berpori (2mm) : untuk menahan partikel taha agar tidak lolos
- Penampungan *washwater* : tempat pengumpulan sisa larutan surfaktan-minyak setelah proses *leaching*
- Kompartemen : untuk mengetahui besarnya efisiensi berdasarkan ketinggian
- Plat berpori (bagian atas): untuk mengatur arah aliran surfaktan agar jatuh tepat diseluruh permukaan sampel
- *Plexyglass* : merupakan polimer yang tahan terhadap material asam/basa dan ringan
- Karet hitam : berfungsi sebagai penahan agar tidak terjadi kebocoran saat proses *leaching* berlangsung



Gambar 2. Reaktor *Leaching Column*

Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut: Pilot Plant *Leaching Column* 1 set, Pengaduk, Pompa, Neraca masa, penampung *washwater*. Bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah: sampel *Light Oil (sand)*, *Heavy Oil (Loam)*, dan *Light Oil (Sandy Loam)*, Surfaktan tween 80, dan air.

Studi Pendahuluan

Sebagai studi pendahuluan, tanah yang terkontaminasi minyak akan diberikan variasi konsentrasi surfaktan untuk mencapai nilai maksimum TPH yang terlarut. Surfaktan yang digunakan, berupa Tween80, memiliki gaya tarik yang lebih kuat dari interaksi antara 13-124 kontaminan dengan tanah (Mentore, 2012). Beberapa variasi yang dilakukan adalah 0%; 0,25%; 0,5%; 0,75%; 1% ;1,25%; 1,5%; 1,75 dan 2% pada ketiga jenis tanah untuk mengetahui konsentrasi optimum dari masing-masing TPH yang terlarut di setiap konsentrasi surfaktan (Evelyn, 2013).

Proses *Soil Washing*

Pada proses *Soil Washing*, *sampling* dilakukan dengan 2 tahap, yaitu *sampling* padatan (TPH tersisa) dan *sampling* larutan (COD tanah *terleaching*). *Sampling* padatan dilakukan per kompartemen dalam satu kali proses *running*. Hal ini maksudkan untuk melihat efisiensi penyisihan minyak berdasarkan ketinggian kolom, dimana masing-masing kompartemen memiliki ketinggian 30cm. Tahap selanjutnya adalah *sampling* larutan. Pengambilan sampel *washwater* di penampungan larutan dilakukan setiap satu jam untuk mengetahui kenaikan

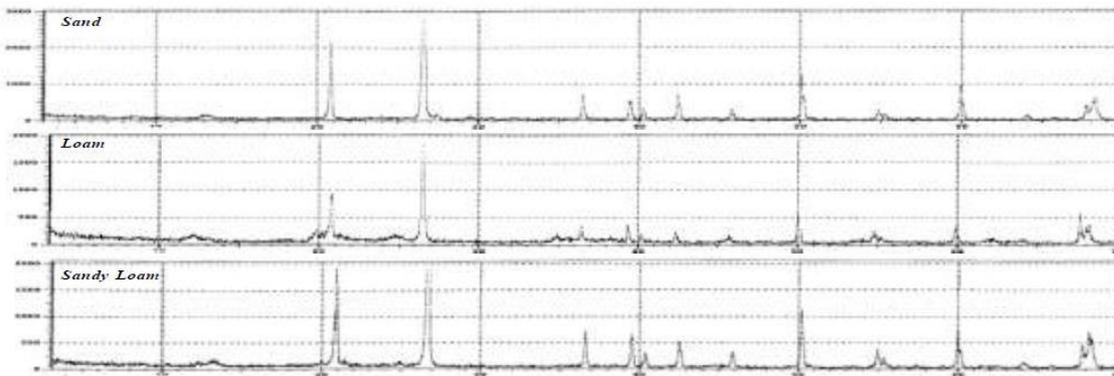
konsentrasi minyak di dalam *washwater* seiring meningkatnya waktu kontak hingga diperoleh nilai konsentrasi yang konstan pada waktu tertentu sehingga didapatkan nilai rasio *solid/liquid* yang optimum dari proses tersebut. Hasil optimasi diukur berdasarkan parameter TPH (ASTM EPA 9071B) (Qixing Zhou dkk., 2005):

$$\%TPH = \frac{C_o - C_{remained}}{C_o} \dots \dots \dots \text{Persamaan 1}$$

HASIL DAN PEMBAHASAN

Karakteristik Awal Sampel

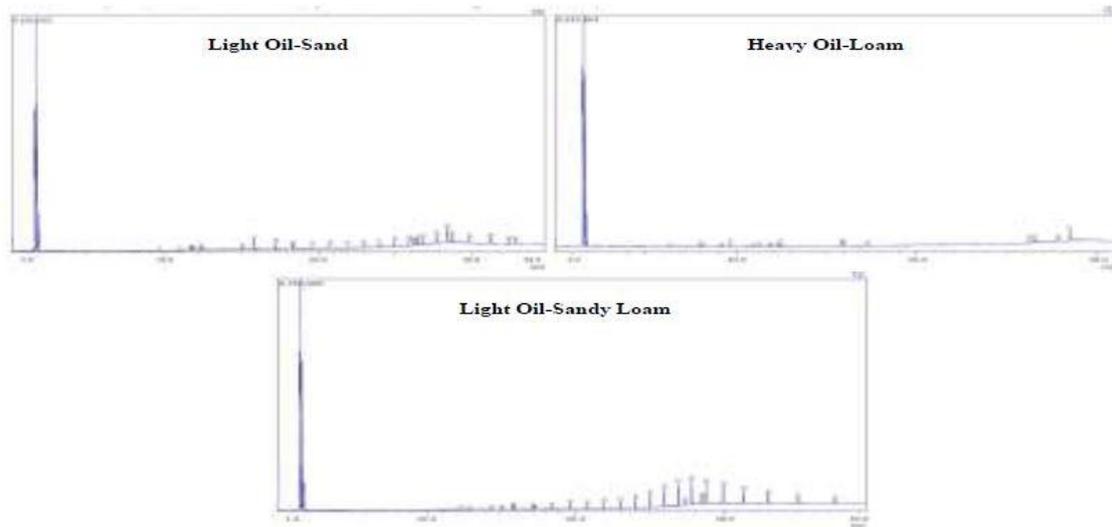
Sampel yang digunakan merupakan *stockpile* dari Riau. Karakterisasi awal dilakukan menggunakan *X-Ray Diffraction* (XRD). Hasil XRD menunjukkan bahwa Tanah 1 *light oil* (*sand*) terdiri dari kuarsa, Tanah 2 *heavy oil* (*loam*) kaolinit dan kuarsa dan tanah 3 *light oil* (*sandy loam*) yang juga terdiri dari kaolinit dan kuarsa seperti yang ditunjukkan pada **Gambar 3** berikut ini.



Penggunaan analisis jenis sinar-X (*X-Ray Diffraction*) adalah untuk menyidiki mineral liat tanah yang terdapat susunan atom-atom atau ion-ion di dalam bidang kristal liat (*crystal plane*). Jenis-jenis mineral liat dicirikan oleh susunan atom yang spesifik, sehingga dihasilkan bidang-bidang atom berciri khas yang mampu mendifraksikan sinar-X. Sinar-X merupakan radiasi elektromagnetis dengan panjang gelombang pendek (*shortwavelength*). Peristiwa ini menghasilkan pola khas dari setiap jenis mineral dengan sudut dan intensitas tertentu serta terekam sebagai *footprint* dalam mengidentifikasi jenis-jenis mineral liat. Pola khas tersebut menunjukkan jenis mineralnya berdasarkan sudut theta tertentu dan intensitas dari masing-masing mineral pada sampel yang terukur. Berdasarkan hasil pengukuran, diperoleh puncak-puncak yang terdapat pada pola difraksi sampel tersebut. Secara kualitatif hasil dianalisa melalui perbandingan data puncak sampel tersebut dengan data JCPDS (*Joint Committee on Powder Diffraction Standards*) dalam bentuk JCPDS Powder Diffraction File. Hasil analisa menunjukkan 3 puncak tertinggi untuk Kaolinit ($Al_2Si_2O_5(OH)_4$) terdapat 5 puncak khas dengan nilai sudut 2θ sekitar $12,4^\circ$; $20,0^\circ$; $21,0^\circ$ dan $25,0^\circ$ (JCPDS card No.89-6538). Pada Kuarsa (SiO_2), puncak khas dari sudut 2θ nya berada pada $20,9^\circ$ dan $26,7^\circ$ (JCPDS card No.89-6538) (Aleksandra dkk., 2013).

Berdasarkan hasil ketiga pengukuran GC-MS dari masing-masing sampel, karbon yang terdapat pada sampel *light oil* (*sand*) berada pada C13 hingga C54 dimana pada interval tersebut terdapat *Diesel Range Organic* (DRO), *kerosene*, dan *asphalts*. Dimana tanah *light oil* (*sand*) banyak didominasi oleh kandungan paraffin ($>C_{20}$). Sementara pada sampel *heavy oil* (*loam*) menunjukkan adanya beberap senyawa alkana dan senyawa sulfur yang menandakan bahwa tanah loam mengandung *heavy oil*. Selain itu, pada tanah loam juga terdapat senyawa gasoline. Hal ini terlihat dari jenis tanah loam dimana senyawa yang bersifat lebih volatil sulit untuk berevaporasi dan bermigrasi sehingga terjebak diantara pori-pori tanah. Pada sampel *light oil* (*sandy loam*) dapat dilihat bahwa senyawa BTEX (*Benzene, Toluene, Ethylene & Xyelene*) tidak muncul pada hasil pengukuran GC-MS. Hal ini memungkinkan bahwa banyak senyawa senyawa volatile

tersebut sudah menguap sehingga hanya bersisa senyawa-senyawa berantai panjang (*saturated compounds*).



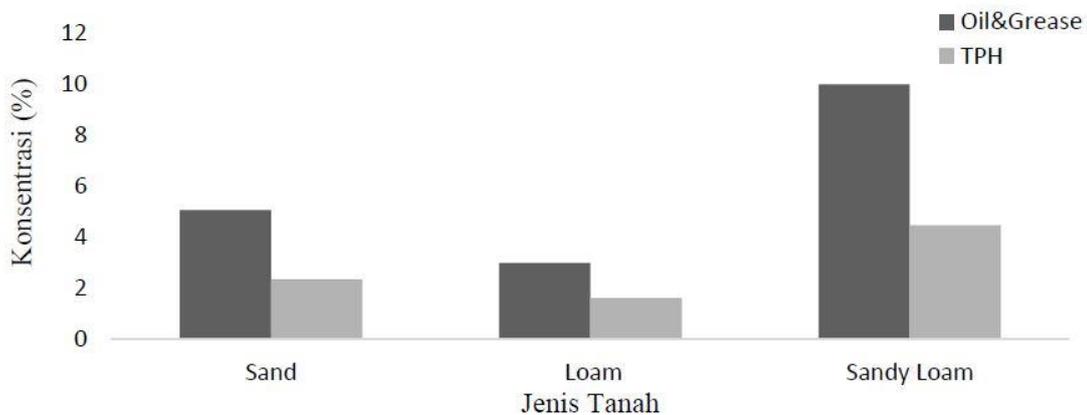
Gambar 4. Hasil Pengukuran GC-MS

Dari hasil pengukuran *Grain Size Analysis light oil (sandy loam)* pada **Tabel 1** di bawah ini menunjukkan bahwa kandungan *Sand* mendominasi sebesar 90,41% lalu diikuti dengan *silt* 8,94%, *gravel* 0,66% dan *clay* 0% sehingga tanah 1 light Oil dikategorikan sebagai Sand. Pada tanah *heavy oil (loam)*, *silt* sebesar 38,82% dan sisanya adalah *sand* (34,43%), dan *clay* (26,75%). Tanah jenis *loam* ditentukan karena jumlah *sand* dan *silt* hampir serupa dan ditambah dengan kandungan kandungan *clay* yang cukup tinggi sehingga tanah tersebut merupakan *laom*. Lalu, tanah *light oil (sandy loam)* terdiri dari *sand* (53,55%) lalu *silt* (40,39%), dan *silt* (6,06%). Penentuan tanah *sandy loam* dilihat berdasarkan jumlah *silt* dan kandungan *sand* yang hampir sama dengan jumlah *clay* yang lebih sedikit sehingga dikategorikan sebagai *sandy loam*.

Tabel 1. Hasil Pengukuran *Grain Size Analysis*

Tekstur	% Sand	% Loam	% Sandy Loam
<i>Gravel</i>	0.66	0	0
<i>Sand</i>	90.41	34.43	53.55
<i>Silt</i>	8.94	38.82	40.39
<i>Clay</i>	0	26.75	6.06

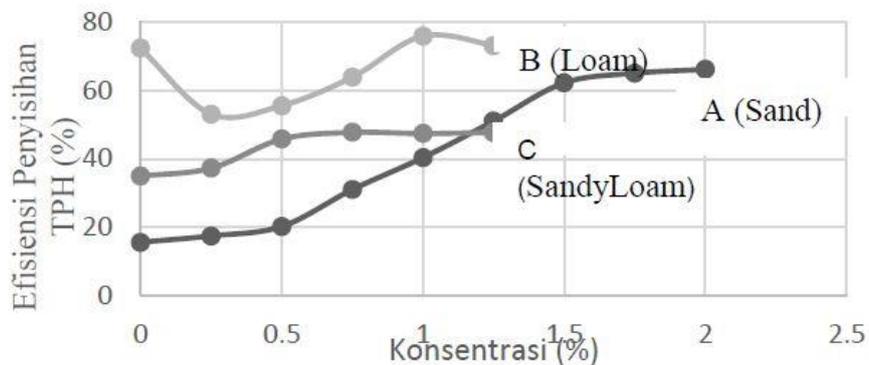
Berdasarkan **Gambar 5** tersebut, sampel *light oil (loam)* memiliki jumlah *oil & grease* dan TPH yang cukup besar dibandingkan dengan sampel *light oil (loam)* dan sampel *light oil (sand)*. hal ini menunjukkan bahwa tanah *sandy loam* memiliki kandungan *organic matter (cod tanah 15%)* yang tinggi sehingga semakin banyak menyerap kontaminan yang mengakibatkan tingginya nilai *oil&grease* dan TPH tanah *sandy laom*, yaitu sebesar 10.01% dan 4.48%. pada tanah *sand*, kandungan *oil&grease* tanahnya tidak terlalu besar, yaitu sekitar 5.07% dan 2.34%. Hal ini dapat diperkirakan dari tekstur tanah *sand* yang memiliki kandungan organik yang lebih rendah sehingga tidak mudah menyerap kontaminan dalam jumlah besar. lalu, pada tanah loam hanya terdapat *oil&grease* dan *tph* sebesar 2.99% dan 1.61%. Hal ini menunjukkan bahwa kecenderungan loam untuk menyerap kontaminan nonpolar cukup rendah dan dapat diperkirakan kontaminan polar lebih mendominasi jumlah kandungannya di dalam tanah loam, seperti yang ditunjukkan pada hasil pengukuran GC-MS yang menyatakan bahwa terdapat kandungan *sulfurous acid* di dalam campurannya.



Gambar 5. Karakteristik Oil&Grease dan TPH

Uji Variasi Konsentrasi Surfaktan

Pada ketiga sampel diberikan beberapa variasi konsentrasi surfaktan. Variasi konsentrasi surfaktan yang dilakukan pada penelitian ini merupakan pengembangan dari variasi konsentrasi berdasarkan literatur (Evelyn dkk., 2013), dengan urutan konsentrasi surfaktan berikut, yaitu 0%; 0,25%; 0,5%; 0,75%; 1%; 1,25%; 1,5%; 1,75% dan 2%. Pada variasi konsentrasi digunakan sistem *batch* dimana jumlah larutan surfaktan yang digunakan dapat diketahui dari perbandingan solid/liquid yang digunakan, yaitu 1:10 dengan banyaknya tanah 500g dan larutan surfaktan 5L. Setelah pengaliran larutan surfaktan selesai, dilakukan pengukuran TPH tanah pada masing-masing konsentrasi surfaktan seperti pada **Gambar 6** berikut ini.

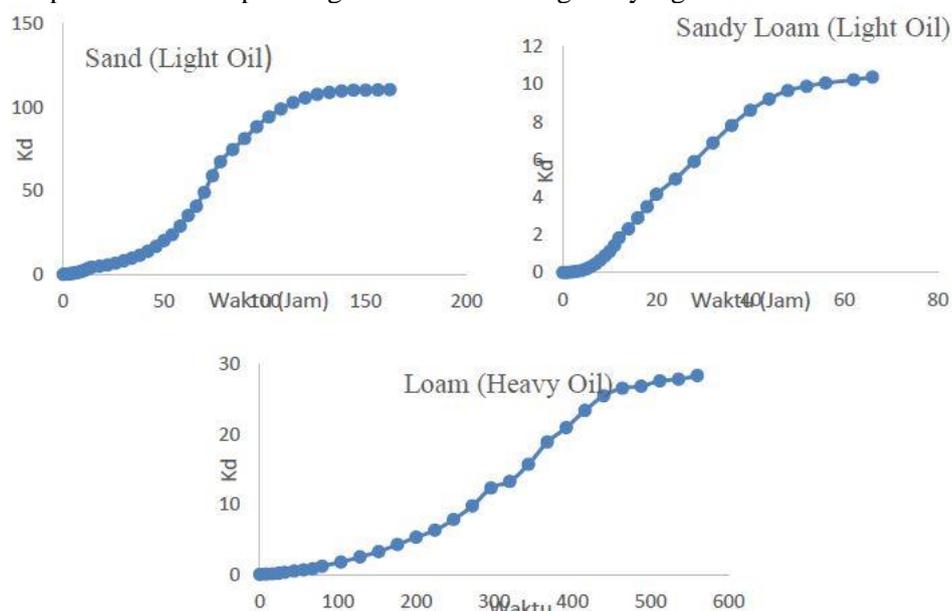


Gambar 6. Variasi Konsentrasi Surfaktan Tween 80

Variasi konsentrasi surfaktan yang digunakan pada masing-masing tanah berbeda-beda. Hal ini dikarenakan setiap tanah memiliki titik optimum yang berbeda. Besarnya nilai efisiensi penyisihan TPH tidak hanya dari jenis tanahnya saja, akan tetapi juga berasal dari jenis kontaminannya, baik bersifat *heavy* maupun *light*. Seperti pada Tanah *sand* yang memiliki kandungan *light oil*. Titik optimum baru diperoleh pada kandungan surfaktan yang lebih besar, yaitu di konsentrasi 1,5%. *Light oil* pada tanah *Sand* cukup pekat karena banyak mengandung senyawa paraffin sehingga untuk bermigrasi membutuhkan tekanan yang besar dan waktu kontak yang cukup lama. *Leaching agent* yang bersifat cukup *viscous* tepat digunakan untuk menekan kontaminan yang banyak mengandung *paraffin*. Efisiensi yang didapat pada konsentrasi optimum sebesar 62%.

Tanah kedua, yang merupakan tanah *loam-heavy oil*, memiliki kandungan TPH awal lebih kecil di antara kedua tanah lainnya (1.61%). Berdasarkan hasil eksperimen, diperoleh hasil

yang berbeda. Efisiensi penyisihan TPH untuk tanah *Loam* lebih besar dibandingkan dengan tanah *sand* dan *sandy loam*. Dapat dilihat dari sifat tanahnya, *loam* yang memiliki kandungan *silt* dan *clay* yang hampir sama sehingga butuh waktu 3 hari untuk dapat dialiri oleh air hingga mencapai efisiensi 72%. Akan tetapi, tanah *loam* suka dengan air karena memiliki kandungan *clay* yang lebih besar dari jenis tanah lainnya. Struktur yang menyerupai liat memudahkan air untuk masuk ke dalam pori tanah, dimana posisi kontaminan akan dengan mudah tergantikan oleh air dan waktu yang dibutuhkan untuk melakukan proses *leaching* pun tidak terlalu lama seperti saat menggunakan surfaktan 1%. Jika dilihat secara kimiawi, banyak kontaminan sulfur. *Sulfurous acid* merupakan kontaminan yang bersifat polar sehingga mudah larut di dalam air. Efisiensi yang diperoleh sama dengan efisiensi saat menggunakan surfaktan 1%, yaitu sekitar 72%. Tanah *sandy loam-light oil*, yang berasal dari Slo Sumatra, memiliki efisiensi terendah pada konsentrasi optimum 0.5%, yaitu kurang dari 50%. Hal ini dapat dikarenakan jumlah kandungan organik tanah yang tinggi dengan kapasitas tukar kation yang rendah. Pada aplikasinya, ion-ion surfaktan dapat bertukar tempat dengan kontaminan/ organik yang berada di dalam tanah.



Gambar 7. Perbandingan Konsentrasi COD Liquid terhadap Solid

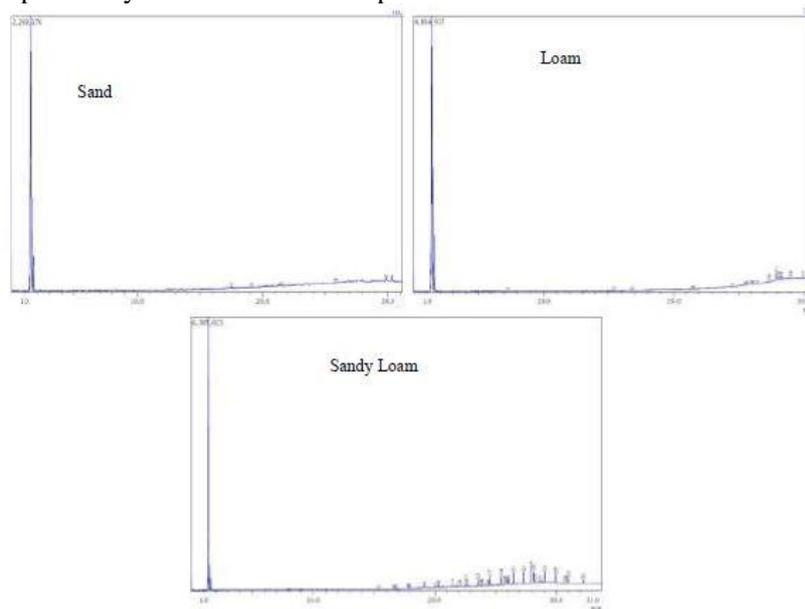
Berdasarkan **Gambar 7** diketahui bahwa nilai Kd COD tanah sand lebih besar dari loam dan sandy loam. Jika dilihat dari struktur tanah, *sand* cenderung mudah lepas dari bentuk butiran tanahnya sehingga menyebabkan mudahnya pelepasan kontaminan dari permukaan tanah. Walaupun minyak pada tanah sand didominasi oleh senyawa paraffin yang lebih *viscous* dibandingkan dengan *paraffin* pada loam maupun sandy loam, tanah *sand* dialiri oleh larutan surfaktan dengan konsentrasi yang lebih tinggi dari kedua tanah lain yaitu 1,5% sehingga larutan tersebut mampu mengikat kontaminan dalam jumlah yang lebih besar. Selain itu, faktor lain yang menyebabkan besarnya nilai Kd COD tanah *sand* pada saat running adalah volume larutan yang dibutuhkan lebih kecil dari proses *soil washing* pada saat variasi konsentrasi yang menggunakan sistem batch. Oleh karena itu, larutan *effluent* lebih konsentrat sehingga memperbesar nilai konsentrasi COD pada *washwater*. Penggunaan variasi waktu pada penentuan nilai Kd dalam skala kontinyu, menyebabkan semakin banyaknya minyak yang terdispersi pada *washwater* hingga mencapai nilai Kd sebesar 110,382. nilai Kd tanah *loam* lebih kecil dari sand dan sandy loam. Jika dilihat dari struktur tanah, *loam* cenderung lebih *bulky* sehingga menyebabkan lamanya pelepasan kontaminan. Struktur tanah *loam* yang lebih mudah merapat menyebabkan kontaminan tertahan di antara pori tanah. Selain itu tekstur loam banyak didominasi oleh *fine grain* seperti *clay*. Dari hasil uji XRD, mineral yang terkandung sebagai fraksi halus, seperti kaolinit yang merupakan salah satu mineral penyusun utama pada fraksi *clay*. Kaolinit merupakan mineral

berupa lapisan silica dan alumina yang bersifat lebih reaktif bila dibandingkan dengan mineral sekunder lainnya.

Oleh karena itu, rendahnya jumlah penyebaran kontaminan di air dapat dikarenakan lebih kuatnya hydrogen bonding antara kaolinit dengan minyak. Penggunaan variasi waktu pada penentuan nilai Kd dalam skala kontinyu, menyebabkan semakin banyaknya minyak yang terdispersi pada *washwater* hingga mencapai nilai Kd sebesar 27,183. diketahui nilai Kd COD tanah *sandy loam* lebih rendah dari Kd COD tanah *sand*. Berdasarkan hasil pengukuran XRD, tanah *sandy loam* tidak hanya mengandung kuarsa tetapi juga terdapat partikel-partikel halus seperti kaolinit. Selain itu, secara fisik tanah *sandy loam* juga megandung kalsit (kapur) yang menyebabkan kuatnya interaksi antar partikel-partikel tersebut dengan kontaminan. Kapur yang terdapat pada tanah *sandy loam* bersifat polar (Keil., 2014) sehingga cenderung mengabsorp minyak lebih banyak. Pada saat proses *leaching*, minyak berada pada kapur tidak seluruhnya dapat teraliri oleh surfaktan Adanya interaksi van der waals antara kapur yang bersifat hidrofobik dengan minyak yang bersifat non polar menyebabkan rendahnya nilai penyisihan minyak dari tanah dan menyebabkan kecilnya nilai Kd pada tanah *sandy loam*. Besarnya nilia Kd pada tanah *sandy loam* adalah 10,230.

Hasil GC-MS Akhir

Pengukuran GC-MS akhir dilakukan untuk mengetahui senyawa-senyawa apa yang tersisa maupun yang terbentuk setelah proses *soil washing* sekaligus melihat adanya pengaruh penambahan surfaktan pada tanah. Surfaktan pada tanah dapat menambah kandungan *oil&grease* pada tanah maupun menyisihkan kontaminan polar.



Gambar 7. Hasil Akhir GC-MS

Gambar 7 menunjukkan bahwa banyak senyawa-senyawa paraffin pada tanah *sand* terisisihkan. Hal ini dapat dilihat dari besarnya pengaruh surfaktan pada proses *soil washing*. Akan tetapi, pada menit ke 22,5, muncul senyawa baru berupa Spiro (3,5-*dioxatricyclo*) dimana pada senyawa tersebut muncul gugus keton dan alkohol, ester dan keton. Jika dibandingkan dengan hasil GC-MS awal saat karakterisasi, dimana hanya terdapat senyawa-senyawa alkane rantai panjang/ paraffin, adanya gugus-gugus tersebut dapat diperkirakan karena interaksi antara surfaktan dengan kontaminan maupun dengan organik tanah. Seperti yang telah diketahui bahwa surfaktan memiliki *polar site* dan *non polar site*, dimana sisi non polarnya mampu mengikat kontaminan organik yang hidrofobik seperti paraffin, sehingga dapat membentuk senyawa-

senyawa baru. Pada hasil pengukuran karakteristik GC-MS tanah loam, diketahui bahwa minyak tanah loam didominasi oleh adanya senyawa *asphaltene*. Asphaltene yang terukur pada GC-MS menunjukkan adanya gugus rangkap dan heteroatom berupa sulfur (*sulfurous acid*) yang menunjukkan bahwa tanah loam tercemar oleh *heavy oil*. Pada hasil pengukuran GC-MS akhir menunjukkan bahwa banyak senyawa asphaltene yang tersisih oleh adanya penambahan air. Hal ini ditunjukkan oleh keberadaan beberapa senyawa alkana sisa yang merupakan senyawa hidrofobik dimana sulit untuk disisihkan oleh influent yang bersifat polar, seperti air. Pengaruh adanya ikatan hydrogen bonding antara air dengan asphaltene yang mendominasi di dalam proses tersebut. Sedangkan adanya senyawa baru, seperti 3-tercier butyl oktanol, yang merupakan senyawa yang bersifat polar, menunjukkan bahwa terdapat senyawa polar yang belum sempat tersisihkan. Selain itu, dapat dimungkinkan karena adana waktu kontak yang panajang antara kontaminan dengan air sehingga pada jam yang lebih lama, air akan mengeluarkan senyawa-senyawa polar lainnya yang tidak terbaca pada saat karakterisasi GC-MS awal. Dari hasil GC-MS akhir tanah *sandy laom* masih banyak mengandung senyawa senyawa paraffin dan muncul beberapa senyawa-senyawa baru dimana menurut Keil., 2014, tanah yang mengandung banyak kaolinit dapat menyerap kontaminan lain, seperti surfaktan. Organik tanah dan surfaktan sangat berpengaruh terhadap kemunculan senyawa-senyawa baru pada tanah loam, seperti senyawa 15-*isobutil* pada menit ke 30 dan *oleoyl chloride* pada menit ke 15. Pada hasil pengukuran GC-MS saat karakterisasi, tanah *sandy loam* banyak mengandung senyawa-senyawa alkane/ paraffin. Kehadiran senyawa-senyawa baru menunjukkan bahwa adanya pertukaran posisi pada surfaktan dengan minyak maupun organik tanah. Keberadaan kapur pada tanah sandy loam dapat diperkirakan menjadi penyebab kandungan minyak di dalam tanah yang tidak tersisihkan.

KESIMPULAN

Dari studi penyisihan TPH dengan metode *Soil Washing* menggunakan *Leaching column* diketahui bahwa telah terjadi penurunan kandungan TPH berdasarkan hasil pengukuran COD tanah *terleaching*. Rata-rata penyisihan TPH Sand, sandy loam, dan loam sebesar 62.8%; 45,3% dan 68.06% serta diperoleh data rata-rata penyisihan COD pada tanah *sand*, *sandy loam*, dan *loam* sebesar 74,8%; 45,08% dan 63,38%. Oleh karena itu, dapat disimpulkan bahwa penurunan COD pada tanah dapat mewakili penurunan TPH di tanah. Untuk kedepannya, perlu dilakukan kajian khusus mengenai pemisahan senyawa-senyawa yang terikat di dalam COD sehingga dapat digolongkan sebagai senyawa TPH terutama dengan adanya surfaktan di dalam larutan

DAFTAR PUSTAKA

- Aleksandra Mitrović, Miodrag Zdujić. (2013). Mechanochemical treatment of Serbian kaolin clay to obtain a highly reactive pozzolana. *JSCS*, **78**, 579–590
- Chong Zhong-Yi, Liao Xiao-Yong, Yan Xiu-Lan1, Sun Lu, Zhao Dan And Liang Tao (2014): Enhanced Desorption of PAHs from Manufactured Gas Plant Soils Using Different Types of Surfactants. *Pedosphere*, **24**, 209–219
- Doug McMillan, Jianbing Li, Xinyuan Song, Ron Thring. (2006): Final Report of Ultrasonic Enhanced Remediation of Salt- and Hydrocarbon-Contaminated Soils. *British Columbia Oil and Gas Commission SCEK Fund Project*, **12**, 115-122
- Evelyn Zamudio-Perez, Erick R. Bandala, Luis C. Fernandez, Luis G. Torres. (2013): Surfactant Enhanced Washing of Soil Contaminated with Petroleum Hydrocarbons and Treatment of Produced Wastewaters Using a Biofilter, *Journal of Environmental Treatment Techniques*, **1**, 110-116.
- Jeffrey Lewis, Jan Sjostrom. (2010): Optimizing The Experimental Design of Soil Column in Saturated and Unsaturated Experiments. *Journal of Contaminant Hydrology*, **115**, 1-13
- Khan F, Husain T, Hejazi R. (2004): An Overview and Analysis of Site Remediation Technologies. *Journal of Environmental Management*, **71**, 95-122
- Mentore Vaccari, Maria Cristina Collivignarelli, Matteo Canato. (2012): Reuse of Hydrocarbon-Contaminated Sludge from Soil Washing Process, *Issues and Perspectives*, **28**, 169-174
- T.H Abdel-Moghny, Ramadhan S.A.M.E.El-sayed, S. Mohammed Aly, and Moustafa G.S. (2012): Effect of Soil Texture on Remediation of Hydrocarbon-Contaminated Soil at El-Minia District, Upper Egypt., *International Scholarly Research Network, Hindawi Publishing Corporation*, **1**, 1-16
- Qixing Zhou, Fuhong Sun, Rui Liu. (2005): Joint Chemical Flushing of Soils Contaminated with Petroleum Hydrocarbons, *Journal of Environment International*, Elsevier, **31**, 835-839
- Ryan P. Rodgers, Christine A. Hughey, Christopher, Hendrickson, Alan G. Marshall. (2002): Advanced Characterization of Petroleum Crude and Products by High Field Fourier Transform Ion Cyclotron Resonance Mass Spectrometry, *Fuel Chemistry Division Preprints*, **2**. 636-637
- Xia Xing-Hui, Lin Li, Xu Jia-lin. (2000): Mixed Surfactant Washing of Petroleum Contaminants from The Soils and Sediments in Unsaturated Zone. *Journal of Environmental Science*, **12**, 108-114
- Xiao Zhao, Yanyan Gong, S.E. O'Reilly, Dongye Zhao. (2015): Effects of oil dispersant on solubilization, sorption and desorption of polycyclic aromatic hydrocarbons in sediment-seawater systems. *Marine Pollution Bulletin*, **4**, 1-10