

## PENGARUH PENAMBAHAN BIOSURFAKTAN SEBAGAI PRAPENGOLAHAN LUMPUR DALAM MENURUNKAN TPH MELALUI OIL RECOVERY PADA TEKNIK BIOREMEDIASI FASE SLURRY

### THE EFFECTS OF BIOSURFACTANT AS OILY SLUDGE PRETREATMENT IN DECREASING TPH THROUGH OIL RECOVERY AT SLURRY PHASE BIOREMEDIATION TECHNIQUE

<sup>1\*</sup>Merry Sianipar dan <sup>2</sup>Edwan Kardena

<sup>1,2</sup> Program Studi Teknik Lingkungan

Fakultas Teknik Sipil dan Lingkungan, Institut Teknologi Bandung

Jl Ganesha 10 Bandung 40132

\*<sup>1</sup>sianipar.merry@yahoo.com dan <sup>2</sup>kardena@pusat.itb.ac.id

**Abstrak:** Limbah lumpur berminyak atau COCS adalah polutan yang harus mendapat perhatian dalam industri perminyakan karena jumlah dan kandungan hidrokarbonnya tinggi. Konsep oil recovery sebagai prapengolahan COCS didasarkan pada tingginya minyak yang terkandung dalamnya. Studi ini tidak hanya bertujuan mencegah pencemaran lingkungan tetapi juga bernilai ekonomi. Pada studi ini, dilakukan pengujian pengaruh biosurfaktan dalam menurunkan konsentrasi TPH pada COCS melalui oil recovery dan pengaruhnya pada degradasi mikroorganisme (*petrea*) pada bioremediasi Fase Slurry. Dosis pencampuran biosurfaktan meliputi rasio 1:1 dan 2:1 antara biosurfaktan dan COCS. Kecepatan pencampuran 32 rpm selama 18 jam dan didiamkan selama 24 jam. Hasil percobaan menunjukkan terbentuknya 3 fase setelah pencampuran yakni minyak (atas), air (tengah) dan solid (dasar). Sebesar 15 ml net oil berhasil diambil (rasio 1:1) dan 35 ml pada rasio 2:1. Penurunan TPH terjadi dari 20-22% menjadi 11,06-15,86% setelah penambahan biosurfaktan (rasio 1:1) dan turun kembali menjadi 7,5% (hari ke-32) setelah bioremediasi. Sedangkan penurunan TPH menjadi 11,73-14,94% pada rasio 2:1 dan turun kembali menjadi 5,6% (hari ke-9) setelah bioremediasi. Penurunan TPH yang signifikan selama bioremediasi kemungkinan disebabkan oleh biosurfaktan yang melarutkan hidrokarbon sehingga memudahkan bakteri mendegradasinya pada bioremediasi Fase Slurry. Konsentrasi logam berat yang rendah serta kondisi reaktor yang dikontrol pH (6-8) dan kelembabannya (30-80%) mendukung kerja bakteri. Dari hasil penelitian diperoleh bahwa biosurfaktan sangat efektif sebagai prapengolahan lumpur untuk menurunkan TPH melalui oil recovery dan juga membantu *petrea* mendegradasi hidrokarbon.

**Kata kunci:** Bioremediasi Fase Slurry, biosurfaktan, lumpur berminyak, oil recovery prapengolahan

**Abstract :** Oily Sludge or COCS is a pollutant that should be concerned in the petroleum industry because a large amount and high contaminant content. The concept of oil recovery as a pretreatment of oily sludge is based on the high oil contain in COCS so it is not only aimed at the environmental pollution prevention but also economically. In this study, the focus are the influence of biosurfactant in reducing the TPH through oil recovery and its effects at the *petrea* in degrading hydrocarbon at Slurry Phase Bioremediation. The ratio between biosurfactant and COCS based on 1:1 and 2:1 ratio. The mixing speed was 32 rpm for 18 hours and stand for 24 hours. The experiment results shows the three separate phases after the addition of biosurfactant the oil (top), water (middle) and solid (bottom). For 15 ml of net oil successfully recovered at 1:1 ratio and 35 ml at 2:1 ratio. TPH was deceased from 20-22% to 11.06-15.86% by biosurfactant and fell back to 7.5% (day 32 of the bioremediation process). In the 2:1 ratio, 11.73-15.49% TPH is achieved and fell back to 5.6% (day 9). The significantly TPH decreased during the bioremediation may be caused by the hydrocarbon dissolution of biosurfactant process so help the bacteria degraded the hydrocarbon. The low concentration of heavy metal and the controlling of pH (range 6-8) and moisture (30-80%) were also supporting the work of bacteria. From this study, shown that biosurfactant is very effective as a pretreatment to decrease TPH through oil recovery and also help the *petrea* degraded the hydrocarbon

**Key words:** Biosurfactant, oil recovery, oily sludge, pretreatment, slurry phase bioremediation.

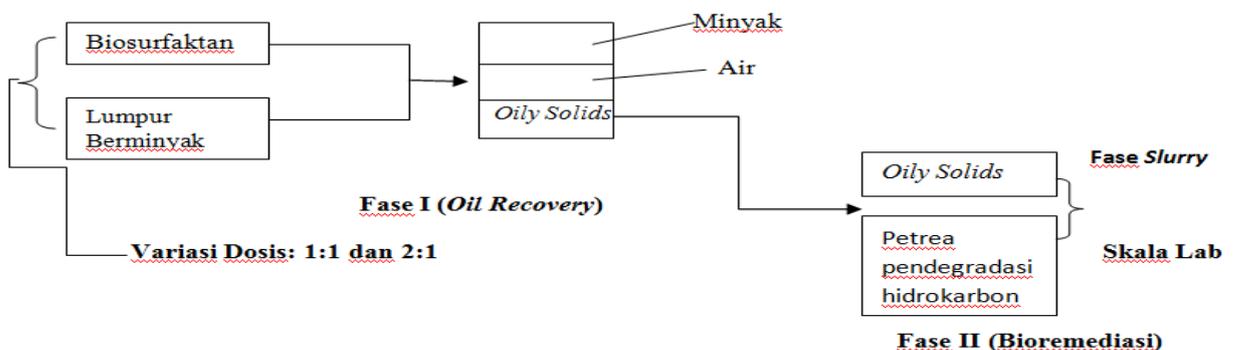
## PENDAHULUAN

PT Chevron Pacific Indonesia (PT CPI) adalah salah satu perusahaan minyak di Indonesia yang melakukan eksplorasi minyak dalam jumlah besar. Selama proses produksinya industri ini meyakini buangan berupa lumpur (COCS) yang jumlahnya sangat besar serta mengandung hidrokarbon minyak yang tinggi yang akan membahayakan lingkungan bila tidak ditangani dengan baik. Lumpur dihasilkan dari beberapa unit atau site yaitu separator tank, tank cleaner tank, spray cooler, kanal CGS, atau disebut juga COCS yang tidak dapat diinjeksikan kembali ke bumi, yang dibawa ke Lokasi Darling. Adapun pengolahan COCS tersebut hanya dilakukan dengan mencampurkan COCS dengan tanah dari stockpile (masih mengandung TPH) dan pengeringan dengan bantuan sinar matahari yang sebenarnya tidak ramah lingkungan. Karakteristik COCS yang ditimbulkan merupakan lumpur (Oily Sludge) yang mengandung minyak berat (Heavy oil) yang masih tinggi. Oleh karena itu, mengacu pada Kepmenlh No 128 Tahun 2003, COCS harus diolah, salah satunya dengan pengolahan secara biologi (bioremediasi). Konsentrasi lumpur yang mengandung konsentrasi TPH melebihi 15% tidak dapat langsung diolah secara bioremediasi sehingga diperlukan prapengolahan dalam penanganan COCS. Pada penelitian ini teknik prapengolahan yang diterapkan adalah penambahan biosurfaktan. Penambahan biosurfaktan sebagai prapengolahan lumpur bertujuan untuk menurunkan konsentrasi TPH melalui pengambilan kembali minyak (Oil Recovery) dari limbah COCS tersebut. Biosurfaktan cukup efektif dalam menurunkan tegangan antar permukaan minyak dan air serta dapat menurunkan viskositas minyak dan menyisihkan air dari minyak (Helmy et al, 2010). Air yang terbentuk dari proses prapengolahan masih mengandung kontaminan COD yang cukup tinggi sehingga dalam realisasi nantinya diperlukan instalasi pengolahan air agar air dapat dengan aman dibuang ke badan air (perlu studi lanjutan).

Penerapan konsep oil recovery sebagai prapengolahan limbah lumpur tidak hanya bertujuan untuk mencegah pencemaran lingkungan tetapi juga menguntungkan dari sisi ekonomi. Untuk menurunkan TPH endapan solid (oily solid), yang berbentuk slurry, sampai kurang dari 1% dilakukan melalui teknik bioremediasi Fase Slurry dengan memanfaatkan fungsi mikroorganisme sebagai pendegradasi hidrokarbon minyak sehingga COCS yang telah diolah tersebut dapat dengan aman dibuang ke lingkungan. Pengolahan COCS yang terintegrasi, melibatkan pengolahan seluruh komponen adalah pengolahan limbah yang ramah lingkungan.

## METODOLOGI

Dosis rasio antara biosurfaktan dengan lumpur berminyak yang akan diolah adalah 2:1 dan 1:1. Biosurfaktan dihasilkan oleh bakteri *Azotobacter vinelandii* berdasarkan hasil penelitian Helmy et al. (2008) dan pengembangan penelitian Hidayat (2009) Adapun kecepatan putar agitator pencampuran antara biosurfaktan dengan lumpur berminyak adalah 32 rpm (prapengolahan) sedangkan kecepatan putar *mixer* untuk bioremediasi Fase *Slurry* diatur dalam rentang 100-200 rpm. Berikut ini konsep penelitian mahasiswa.



Gambar 1 Alur penelitian mahasiswa

**Tabel 1** Parameter-parameter utama dan pendukung dalam penelitian

No	Parameter	Metode
1	C-organik lumpur	GC-MS (EPA 8015B 3550)
2	TPH	
3	Komposisi Kimia C-organik lumpur	
4	<i>Oil Fingerprint</i>	<i>Gas Chromatography</i> (GC5890)
5	Kelembaban	<i>Moisture Analyzer</i>
6	pH	pH elektrometrik
7	Logam Berat	TCLP dan THM
8	BTEX	<i>Gas Chromatography</i> (EPA 8260B EPA 5030A)

**Tabel 2** Parameter uji karakteristik (kualitas) minyak hasil *Recovery* CPI, 2008)

No	Parameter	Metode
1	Density	API Method
2	rho API 60 F-C	
3	<b>API 60 °F-C</b>	
4	SG 60 °F-C	Metode <i>Bituminious, Sediment and Water</i> (BS&W)
5	Persentase <i>Net Oil</i>	
6	<i>Pour and Solid Point</i>	-
7	<i>Oil Fingerprint</i>	<i>Gas Chromatography</i> (GC5890)

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Kondisi Awal

Pada penelitian ini, peran mikroorganisme menjadi poin penting dalam menurunkan TPH atau disebut juga pengolahan secara biologi. Cookson (1995) menyebutkan terdapat beberapa syarat-syarat dasar biologi yang harus dikontrol dalam lingkungan, beberapa diantaranya adalah pH, kelembaban serta ketidakhadiran logam berat dan B3 (Bahan berbahaya dan beracun). Pada penelitian ini dilakukan pengukuran pH, kelembaban, logam berat dan BTEX.

Pada kondisi awal diperoleh bahwa nilai pH relatif netral yakni 7,4. Eweis *et al.* (1998) mengungkapkan bahwa pada umumnya mikroorganisme dapat hidup dan tumbuh dengan baik pada rentang pH 6-9 dengan pH optimal diantara 7 dan 8. Dengan demikian, kondisi keasaman tidak menjadi masalah pada awal percobaan. Untuk kelembaban, diperoleh bahwa kelembaban 54,6% dan konsentrasi solid berkisar 30%. Oleh karena cairan yang mendominasi dalam COCS, kondisi *Slurry* untuk mikroorganisme cocok diaplikasikan dalam penelitian ini. Hal ini berkenaan dengan La Grega *et al.*, (1994) dikutip dari Eweis *et al.*, (1998) menemukan bahwa nilai kandungan solid yang untuk Metode Bioremediasi Fase *Slurry* yang pernah dilakukan adalah 5% (paling rendah) dan 50% (paling tinggi). Sedangkan untuk logam berat, hasil analisa menunjukkan bahwa konsentrasi logam berat sangat kecil (hampir tidak ada) sehingga kondisi lingkungan tidak berbahaya bagi mikroorganisme.

**Tabel 3** Analisa logam berat lumpur berminyak pada kondisi awal (Metode THM)

No	Logam Berat	Konsentrasi (mg/L)	Keterangan
1	Ba	0,718	Aman
2	Co	Tidak ada	Aman
3	As	0,08	Aman
4	Pb	0,264	Aman
5	Se	Tidak ada	Aman
6	V	0,296	Aman
7	Cd	Tidak ada	Aman
8	Cr	0,324	Aman
9	B	Tidak ada	Aman
10	Cu	0,108	Aman
11	Zn	0,755	Aman
12	Mo	0,021	Aman
13	Be	Tidak ada	Aman
14	Ag	Tidak ada	Aman
15	Sb	0,019	Aman
16	Tl	Tidak ada	Aman
17	Ni	0,233	Aman
18	Sn	Tidak ada	Aman

Dari hasil pengukuran BTex, diperoleh bahwa terdapat kandungan toluena dalam COCS sebesar 8,92 µg/kg. Cohen dan Mercer (1993) mengatakan bahwa toluena adalah senyawa volatil aromatik monosiklik yang terdapat dalam tar batubara, produk minyak bumi dan berbagai formulasi produk kimia organik. Jadi kemungkinan toluena yang dalam COCS berasal dari proses produksi minyak PT CPI. Selain itu, menurut Crawford *et al.* (1996) disebutkan bahwa toluena dalam tanah dapat didegradasi oleh sejumlah bakteri spesies *Pseudomonas* dan *Achromobacter*. Oleh karena itu, toluena yang terkandung dalam COCS akan didegradasi oleh petrea dikarenakan salah satu bakteri dalam Petrea (diaplikasikan dalam penelitian ini) terdapat bakteri *Pseudomonas* sp.

**Tabel 4** Hasil analisa BTex lumpur berminyak pada kondisi awal

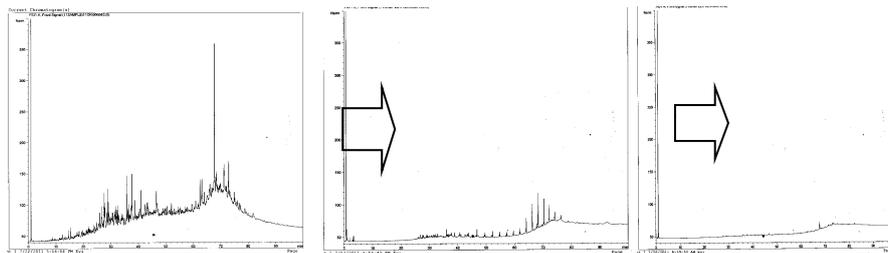
No	BTex	µg/L	µg/kg
1	Benzena	0	0
2	Toluena	8,19	8,92
3	Ethylbenzena	0	0
4	Xylene (total)	0	0

## Penurunan TPH

Berdasarkan percobaan diperoleh nilai TPH berhasil diturunkan dari 20-22% menjadi 11,06-15,86% melalui penambahan biosurfaktan pada rasio 1:1. Terjadinya penurunan TPH ini menunjukkan fungsi biosurfaktan yang cukup efektif dalam menurunkan TPH. Hidayat (2009) mengungkapkan bahwa biosurfaktan cukup efektif dalam menurunkan tegangan antar permukaan minyak dan air serta dapat menurunkan viskositas minyak dan menyisahkan air dari minyak. Berdasarkan pernyataan tersebut biosurfaktan berfungsi memisahkan antara minyak, air dan solid dari COCS. Melalui pendiaman campuran selama 24 jam memberikan kesempatan pada minyak naik ke atas (massa jenis minyak lebih rendah dari massa jenis air dan soild). Minyak yang terpisah dan mengapung pada bagian atas reaktor kemudian diambil sehingga otomatis kandungan minyak berkurang dari COCS dan menurunkan konsentrasi TPH dari COCS. Dengan kata lain, biosurfaktan cocok sebagai prapengolahan lumpur berminyak Duri.

Melalui teknik Bioremediasi Fase *Slurry*, TPH diturunkan kembali menjadi 7,5% pada hari ke -32. Dengan memanfaatkan fungsi petrea, hasil inokulasi dari beberapa lokasi industri minyak di Indonesia, serta ditamhkannya nutrien maka laju penyisihan hidrokarbon minyak akan meningkat. Pada umumnya untuk proyek besar pengolahan, mikroorganisme yang beragam sangat berperan dalam keberhasilan bioremediasi (Cookson, 1995). Dengan pengkondisian reaktor *slurry* (pH, kelembapan dan nutrien), petrea akan dapat bekerja dengan optimal memakan hidrokarbon minyak. (Eweis *et al.*, 1998)

Penurunan TPH dapat dilihat pada grafik *oil fingerprint* yang ditunjukkan pada setiap fase (**Gambar 2**). Berkurangnya ketinggian peak dan luas area pada grafik menunjukkan penurunan jumlah minyak akibat penambahan biosurfaktan dan degradasi petrea.

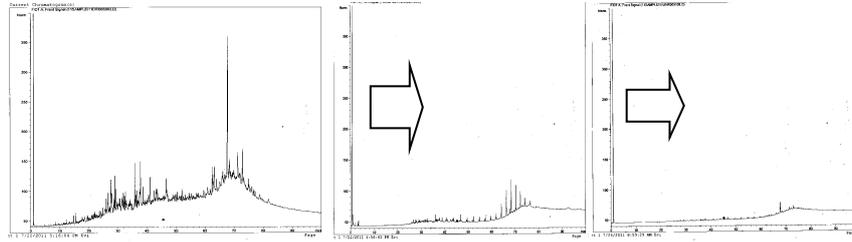


**Gambar 2** *Oil Fingerprint* (1:1) secara bertahap : Kondisi awal, setelah *Oil Recovery*, bioremediasi pada hari ke-32 (kiri ke kanan)

Dari percobaan pada rasio 2:1, diperoleh TPH berhasil diturunkan dari 20-22% menjadi 11,73-14,94%. Dengan kata lain, efisiensi penyisihan TPH oleh biosurfaktan adalah 32-41%. Hal ini menunjukkan bahwa biosurfaktan sangat efektif dalam menurunkan TPH COCS. Bila dibandingkan dengan rasio 1:1, biosurfaktan lebih efektif pada rasio 2:1. Hal ini terlihat dari jumlah minyak yang berhasil diambil kembali dari COCS lebih besar pada rasio 2:1.

Melalui teknik Fase *Slurry* dan petrea TPH diturunkan kembali menjadi 5,6% pada hari ke-9 atau dicapai efisiensi penurunan TPH sebesar 52-62%. Hasil ini menunjukkan bahwa keterlibatan biosurfaktan pada rasio 2:1, dalam menurunkan tegangan permukaan sangat baik sehingga hanya dengan sembilan hari TPH turun sangat signifikan. Dari percobaan ini terlihat bahwa biosurfaktan secara total bekerja memisahkan antara minyak, air dan solid dari COCS serta pada solid biosurfaktan turut membantu petrea dalam mendegradasi hidrokarbon. Hal ini sesuai dengan pernyataan Banat *et al.* (2000), dikutip dari Rahman *et al.* (2007), disebutkan bahwa biosurfaktan adalah senyawa amfifilik yang menurunkan tegangan permukaan dan interfasial melalui akumulasi interfase dari fluida dan solid serta meningkatkan area permukaan dari komponen yang tidak terlarut untuk meningkatkan mobilitas, *bioavailability* dan biodegradasi selanjutnya.

Penurunan TPH dapat dilihat pada *oil fingerprint* yang ditunjukkan untuk setiap fase pada **Gambar 3**.



**Gambar 3** Oil Fingerprint (Rasio 2:1) secara Bertahap : Kondisi awal, setelah Oil Recovery, bioremediasi pada hari ke-9 (Kiri ke kanan)

Bila dibandingkan dengan rasio 1:1 terlihat bahwa laju degradasi sangat cepat pada *oily solid* yang berasal dari rasio 2:1. Pada hasil percobaan, rasio 2:1, yang dilakukan oleh Chang *et al.* (2011) yakni sebesar 93,8% efisiensi penurunan TPH oleh biosurfaktan dan selanjutnya 95,5% oleh bakteri dengan sumber lumpur berminyak. Hasil ini cukup berbeda dengan yang dilakukan peneliti. Adanya kemungkinan kualitas biosurfaktan menurun selama pengiriman dari Bandung ke Duri (kesalahan teknis) menimbulkan kerja biosurfaktan hanya mampu mencapai efisiensi 32-41% sedangkan efisiensi penurunan TPH oleh bakteri sebesar 90% akan dicapai bila waktu untuk bakteri mendegradasi hidrokarbon ditambah (terbatasnya waktu percobaan di lapangan).

#### **Karakteristik Air yang Terbentuk dari Lumpur Berminyak (COCS) Setelah Oil Recovery**

Setelah COCS direaksikan dengan biosurfaktan terjadi pemisahan antara minyak, air dan solid (**Gambar 4**)



**Gambar 4** Rasio 1:1(kanan); Rasio 2:1(kiri)

Air yang terbentuk dianalisa kandungan-kandungan kontaminannya. Hal ini bertujuan untuk mengetahui apakah diperlukan perlakuan lanjutan terhadap air yang terbentuk atau dapat dengan aman dibuang langsung ke badan air. Pada penelitian ini, dilakukan pengukuran kontaminan kandungan COD dan logam berat.

Dari hasil pengukuran diperoleh konsentrasi COD berkisar 17.600 mg/L untuk rasio 1:1 dan 15.800 mg/L untuk rasio 2:1. Berdasarkan hasil pengukuran COD diperoleh bahwa nilai COD sangat tinggi melebihi baku mutu, baku mutu COD Kep-MenLH/10/1995 adalah 350 mg/L, sehingga diperlukan instalasi pengolahan air limbah untuk menurunkan kontaminan sebelum dibuang ke badan air (perlu studi lanjutan). Tingginya konsentrasi COD dapat disebabkan minyak dan komponen fisik yang terdapat dalam biosurfaktan.

Sedangkan untuk analisa logam berat, dapat dilihat pada **Tabel 5** diperoleh bahwa konsentrasi logam berat di dalam air, baik pada rasio 1:1 dan rasio 2:1, sangat kecil bahkan hampir tidak ada. Jadi fokus studi lanjutan untuk instalasi pengolahan air limbah yang diperlukan tidaklah kompleks. Hasil pengukuran logam berat pada COCS (awal) dan air menunjukkan ketidaksesuaian. Idealnya hasil pengukuran yang ditunjukkan oleh kedua sampel akan sama atau lebih kecil pada air. Hal ini dikarenakan sulitnya mendapatkan kondisi homogen pada sampel. Namun, perbedaan tidak akan terlalu signifikan sehingga hasil pengukuran cukup akurat.

**Tabel 5** Hasil analisa air (*Water Recovery*) pada rasio 1:1 dan rasio 2:1

No	Parameter	Konsentrasi Logam (mg/L)		Keterangan	
		1:1	2:1	1:1	2:1
1	Ba	0,056	0,062	Aman	Aman
2	As	0,005	0,007	Aman	Aman
3	Pb	0,038	0,012	Aman	Aman
4	Se	Tidak ada	0,29	Aman	Aman
5	Cd	Tidak ada	Tidak ada	Aman	Aman
6	Cr	0,031	0,023	Aman	Aman
7	B	0,941	2,442	Aman	Aman
8	Cu	0,017	0,014	Aman	Aman
9	Zn	0,045	0,192	Aman	Aman
10	Ag	Tidak ada	Tidak ada	Aman	Aman

Di sisi lain, penanganan air yang terbentuk dapat dilakukan melalui penginjeksian ke dalam bumi. Zheng *et al.* (2011), dalam penelitiannya, merekomendasikan air yang terbentuk dari proses *recovery* dapat diinjeksikan ke bumi melalui pengolahan terlebih dahulu.

Dengan acuan Peraturan Menteri Negara Lingkungan Hidup No 13 Tahun 2007 tentang persyaratan dan tata cara pengelolaan air limbah bagi usaha dan/atau kegiatan hulu minyak dan gas serta panas bumi dengan cara injeksi di Indonesia, dan didukung dengan tersedianya fasilitas injeksi air terproduksi PT Chevron Pacific Indonesia yang bernama *Central Injection Facility*, Air yang terbentuk akan diinjeksikan ke bumi melalui sumur air limbah atau disebut *Disposal Well* (PT CPI, 2006).

#### Analisa Karakteristik Minyak (*net oil*) hasil *Recover*

Secara visual terlihat COCS berwarna hitam pekat dan sangat kental (**Gambar 5**). Selain itu, hasil pengukuran TPH menunjukkan bahwa masih terkandung minyak yang cukup tinggi dalam COCS.

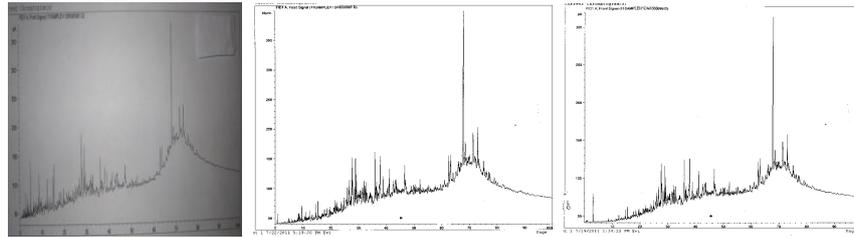


**Gambar 5** Kondisi lumpur berminyak (COCS) di lapangan

Berdasarkan percobaan diperoleh bahwa lumpur berminyak (COCS) yang berasal dari Lokasi Darling mengalami *oil recovery* terkecil, pada dosis rasio 1:1 antara Biosurfaktan dengan lumpur berminyak yakni sebesar 15 ml minyak (*net oil*) dan sebesar 35 ml minyak (*net oil*) berhasil diambil kembali untuk rasio 2:1.

Dalam penelitian ini dilakukan analisa karakteristik minyak hasil *recovery* dengan menggunakan standar internasional serta karakteristik minyak Duri (minyak berat) sebagai acuan penilaian kelayakan atau kualitas *net oil*.

Berdasarkan hasil pengukuran (**Gambar 6**) *net oil* memiliki karakteristik yang sama bila dibandingkan dengan karakteristik minyak Duri. Bukan hanya itu, dari pengukuran nilai API (*American Petroleum Index*), 17,59°API untuk variasi 1:1 dan 17,1°API untuk variasi 2:1, diperoleh bahwa *net oil* mengarah pada karakteristik minyak konvensional (minyak ringan) yang lebih baik.



**Gambar 6** (Kiri ke kanan) *Oil Fingerprint Crude Oil* dari salah satu Well DSF untuk minyak berat, minyak Hasil *Recovery* oleh biosurfaktan rasio 1:1, rasio 2:1

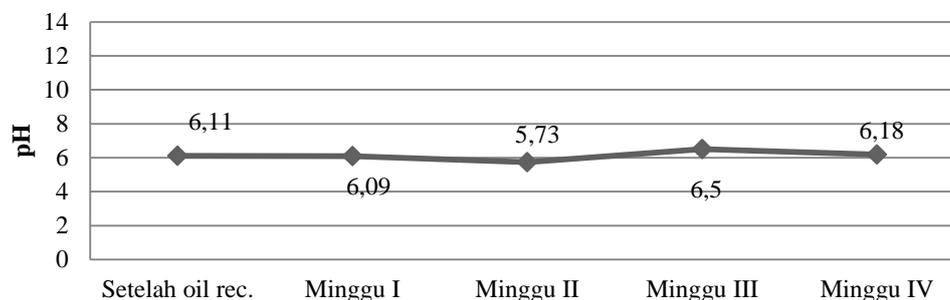
**Tabel 6** Analisa *oil recovery* oleh biosurfaktan rasio 1:1 dan rasio 2:1

No	Parameter	Satuan	Rasio 1:1	Rasio 2:1
1	Densitas	g/cm <sup>3</sup>	0,93225	0,93539
2	Temperatur aktual	°C	40	40
3	rho API 60 F-C	g/cm <sup>3</sup>	0,9482	0,9512
4	<b>API 60 °F-C</b>	-	17,59	17,1
5	SG 60 °F-C	-	0,9491	0,9521
6	<i>Pour Point</i>	°F	40	35
7	<i>Solid Point/No Flow point</i>	°F	35	30,3

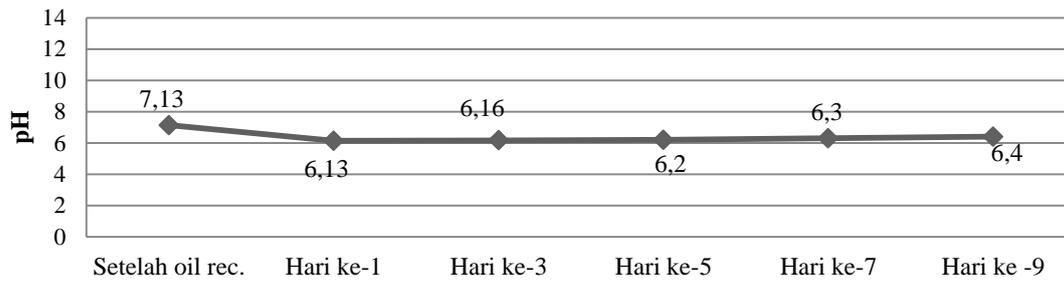
#### Kondisi Lingkungan Reaktor Selama Percobaan Bioremediasi Fase *Slurry*

Berikut ini hasil pengukuran pH dan kelembapan reaktor Fase *Slurry*. Melalui bioremediasi fase *slurry*, solid yang terbentuk dari proses sebelumnya akan diturunkan kandungan TPHnya sampai di bawah 1%. Untuk mencapai hal tersebut pengkondisian lingkungan reaktor fase *slurry* sangat diperlukan untuk mendukung kerja mikroorganisme dalam memakan hidrokarbon minyak.

Untuk *slurry* berasal dari rasio 1:1 dan rasio 2:1 terlihat bahwa terjadi penurunan pH selama proses pengolahan dari kondisi awal (pH 7,4 netral). Hal ini disebabkan adanya akumulasi asam-asam organik hasil dari proses degradasi. Namun, hasil pengukuran pH masih berada dalam rentang aman. pH aman berada dalam rentang yakni 6-9. Untuk mengontrol pH yang terlalu asam dapat dilakukan melalui penambahan kalsium oksida (lime), kalsium hidroksida, kalsium karbonat, magnesium karbonat, dan bijih kalsium silikat (Eweis *et al.*,1998).



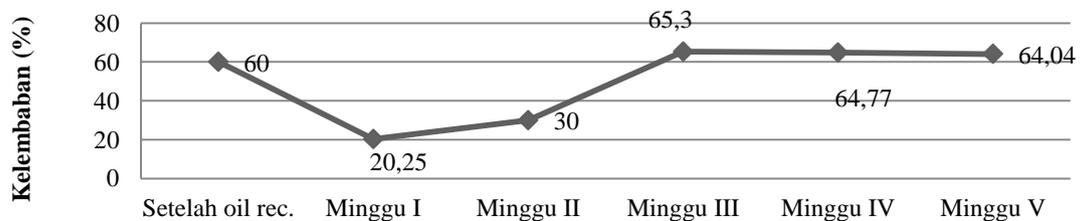
**Gambar 7** pH *oily solids* selama proses Bioremediasi (Rasio 1:1)



**Gambar 8** pH *oily solids* selama proses bioremediasi (Rasio 2:1)

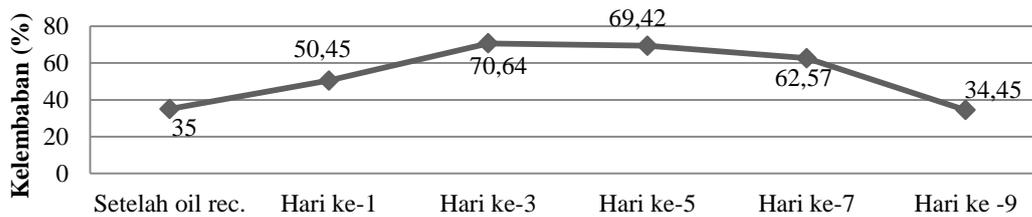
Pada penelitian juga dilakukan pengukuran kelembaban reaktor Fase *Slurry*. Menurut Eweis *et al.* (1998), parameter penting yang harus dikontrol untuk mencapai keberhasilan pengolahan lumpur dan keefektifan biaya dalam bioremediasi Fase *Slurry* adalah konsentrasi solid dari *slurry* dan oksigen terlarut. Walaupun peneliti tidak melakukan pengukuran konsentrasi solid pada *slurry* tetapi data pengukuran kelembaban *slurry* cukup efektif dalam menggambarkan konsentrasi solid *slurry*. Hal ini dikarenakan massa *slurry* adalah jumlah massa solid dengan massa air (Eweis *et al.*, 1998).

Dari hasil pengukuran pada rasio 1:1 diperoleh bahwa terjadi fluktuatif kelembaban *slurry* khususnya minggu I dan minggu II setelah *oil recovery*. Hal ini dikarenakan kesalahan teknis yang membuat peneliti tidak menjalankan reaktor dalam beberapa hari. Namun hal ini diantisipasi dengan menambahkan air ke dalam reaktor agar kelembaban meningkat kembali. Hal ini terlihat pada minggu ketiga sampai minggu ke lima kelembaban *slurry* terjaga pada rentang 60-70% atau 30-40% konsentrasi solid. Hal ini sesuai dengan pernyataan Ross (1990) dikutip dari Eweis *et al.* (1998) bahwa pada umumnya kandungan solid pada operasi Fase *Slurry* berada pada rentang 10-40%.



**Gambar 9** Kelembaban *oily solids* selama proses Bioremediasi (Rasio 1:1)

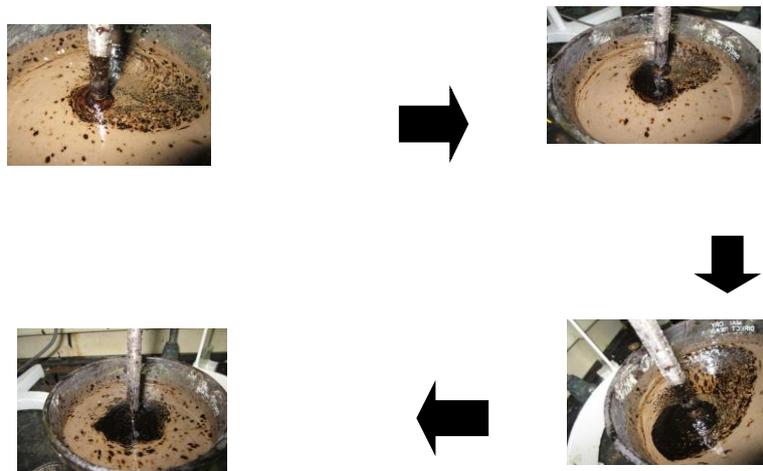
Begitu juga dengan *slurry* pada rasio 2:1 terlihat bahwa kelembaban *slurry* sangat fluktuatif khususnya setelah *oil recovery* (hari ke-1) sampai hari ke 3. Meningkatnya kandungan air dalam reaktor karena peneliti menambahkan sejumlah air ke dalam reaktor, setelah *oil recovery*, sampai terlihat *slurry* cukup encer. Hal ini ternyata mendukung kinerja bakteri dalam mendegradasi hidrokarbon minyak terlihat dari penurunan TPH yang sangat signifikan apabila dibandingkan dengan operasi rasio 1:1. Hasil percobaan ini mendukung laporan hasil eksperimen Andrews (1990) dikutip dari Eweis *et al.* (1998) tentang laju transfer oksigen akan meningkat dengan meningkatnya kecepatan aliran udara tetapi akan menurun dengan meningkatnya kandungan solid per unit massa *slurry* dimana untuk kandungan solid di atas 40% laju transfer oksigen akan menurun. Jadi, ditamapkannya air ke dalam reaktor akan menurunkan konsentrasi solid sehingga meningkatkan laju transfer oksigen yang akan mendukung pertumbuhan mikroorganisme dalam *slurry*.



**Gambar 10** Kelembaban *oily solids* selama proses Bioremediasi (Rasio 2:1)

#### ***Enhanced Oil Recovery of Oily Sludge by Microbial Activity***

Selama proses bioremediasi Fase *Slurry* terjadi peristiwa unik yakni naiknya kembali minyak ke bagian atas reaktor (**Gambar 11**). Peristiwa ini kemungkinan terjadi karena salah satu bakteri dalam *Petrea* menghasilkan biosurfaktan sebagai respon diri atas proses degradasi yang dilakukannya. Dengan bantuan mixer reaktor minyak tersebut menyatu dan berkumpul. Sebesar 15 ml *net oil* dapat diambil kembali selama 32 hari proses bioremediasi. Hal ini disebut *Enhanced Oil Recovery of Oily Sludge by Microbial Activity*. Salah satu bakteri dalam *petrea* yang digunakan adalah *Pseudomonas*. Suryatma (2006) dikutip dari Hidayat (2009) mengatakan salah satu bakteri penghasil biosurfaktan adalah *Pseudomonas sp.*



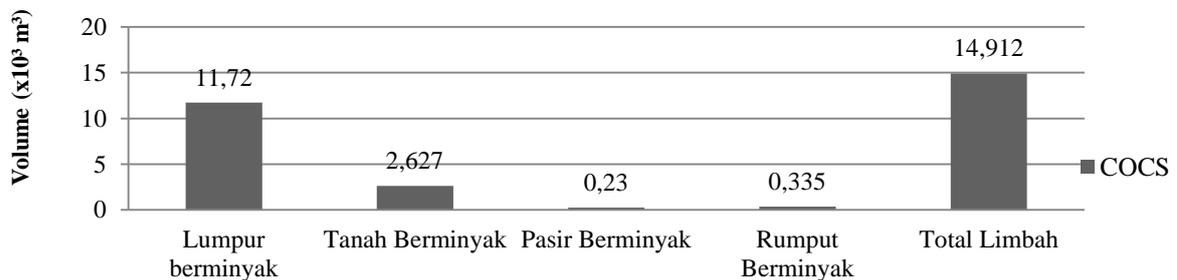
**Gambar 11** Minyak kembali naik selama proses bioremediasi (rasio 1:1)

Adanya *recovery* minyak selama proses bioremediasi akan mendukung penurunan TPH pada *oily solid* sehingga tidak akan mencemari lingkungan ketika dikembalikan ke alam. Selain itu, minyak yang diambil kembali tersebut layak dan bernilai ekonomis. Perlu dilakukan penelitian lanjutan mengenai peranan dan keefektifan *petrea* dalam melakukan *oil recovery* selama melakukan degradasi hidrokarbon minyak.

#### **Rata-rata jumlah lumpur berminyak (COCS) yang dibawa ke lokasi Darling**

COCS yang menjadi kajian dalam studi ini adalah COCS yang dibawa ke lokasi Darling. Adapun kondisinya tidak homogen namun didominasi oleh lumpur berminyak (79%). Jumlahnya yang sangat besar dan kualitasnya yang masih sangat tinggi mengandung minyak menjadi alasan dilakukannya *oil recovery* pada pengolahan limbah COCS. Berikut ini rata-rata jumlah COCS yang masuk ke lokasi Darling milik PT CPI DSF Duri (**Gambar 12**). Berdasarkan data jumlah limbah selama setahun yang masuk ke lokasi Darling, pengolahan

limbah dengan konsep *oil recovery* akan sangat bernilai ekonomi mengingat kebutuhan minyak yang semakin meningkat akhir-akhir ini.



Total Limbah Tahun 2008-2009

**Gambar 12** Volume COCS yang dibawa ke lokasi Darling selama setahun

## KESIMPULAN

Penggunaan Biosurfaktan sebagai prapengolahan lumpur sangat efektif dalam menurunkan TPH *oily sludge* sekaligus *oil recovery*. Pengaruh Biosurfaktan dalam menurunkan TPH dan *oil recovery* akan berbeda tergantung pada rasio dosis biosurfaktan dengan *oily sludge*. Di samping itu, *net oil* hasil *oil recovery* layak dan ekonomis sesuai dengan karakteristik Minyak Duri *Heavy Oil* (DSF). Teknik Bioremediasi Fase *Slurry* sangat baik digunakan dalam mengolah *oily sludge* yang dibawa ke lokasi Darling, dikarenakan karakteristik *slurry* yang dimilikinya, dengan memanfaatkan peran mikroorganisme (*Petrea*) dalam mendegradasi hidrokarbon minyak.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kepada *Petroleum Engineering Laboratory* PT CPI atas kesempatan yang diberikan kepada mahasiswa sehingga dapat melaksanakan penelitian di Duri

## DAFTAR PUSTAKA

- Chevron Pacific Indonesia (CPI). 2008. *Standard Operating Procedure Technical*; Laporan RKL-RPL PT DSF CPI Tahun 2008 Duri..
- Cookson Jr, John T. 1995. *Bioremediation Engineering, Design and Application*. USA : McGraw-Hill. Crawford, Ronald R., Crawford, Don L. 1996. *Bioremediation Principles and Applications*. New York: Cambridge University Press.
- Eweis, Juana B., Ergas, Sarina J., Chang, Daniel P.Y., Schroeder, Edward D. 1995. *Bioremediation Principles*. Malaysia : McGraw-Hill.
- Grob, Robert L. 2004. *Modern Practice of Gas Chromatography* (9780471597001) 4<sup>th</sup>
- Helmy, Q., Hidayat, S., Kardena, E., Nurachman, Z. dan Wisjnuaprpto. (2010): Produksi Biosurfaktan dalam Fermentor 10 Liter dan Aplikasinya dalam Bioremediasi Tanah Tercemar Minyak Bumi, *Jurnal lingkungan tropis*, Special Edition of august 2010
- Helmy, Q., Kardena, E., Nurachman, Z. dan Wisjnuaprpto. (2010): *Application of Biosurfactant Produced by Azotobacter vinelandii AV01 for Enhanced Oil Recovery and Biodegradation of Oil Sludge*. *International Journal of Civil & Environmental Engineering IJCEE*, Vol 10: 7-14
- Helmy, Q., Kardena, E., Funamizu, N and Wisjnuaprpto. (2008): *Optimization of Cultural Conditions for Biosurfactant Production from Azotobacter vinelandii*. *International Conference on Sustainable Environmental Technology and Sanitation for Tropical Region*. November 18-19<sup>th</sup>, Surabaya

- Hidayat, Syarif. 2009. Pengaruh Variasi Suhu dan Pengadukan terhadap Produksi Biosurfaktan oleh *Azotobacter vinelandii* dalam Fermenter 10 Liter. Bandung : Laporan Tugas Akhir Departemen Teknik Lingkungan.
- Mercer, J.W., and Cohen, R.M., 1990. *A review of immiscible fluids in the subsurface – properties models, characterization and remediation*: J. Contam. Hydrol.
- Rahman, K.S.M., Rahman, T.J., Banat, I.M., Lord, R., Street, G. 2007. *Bioremediation of Petroleum Sludge using Bacterial Consortium with Biosurfactant. International Journal of Environmental Bioremediation Technologies* oleh Shree N. Singh dan Rudra D.Tripathi (editor). New York : Springer.
- Zheng, C., Yu, L. , Huang, L. 2011, *Microbial enhanced treatment of oil sludge from oil production plant by rhodococcus ruber Z25*. China: Jurnal Internasional *Canadian Petroleum Technology*.
- [www.scribd.com/doc/Permenlh13-2007](http://www.scribd.com/doc/Permenlh13-2007); [www.scribd.com/doc/Kepmenlh No 128 Tahun 2003](http://www.scribd.com/doc/Kepmenlh%20No%20128%20Tahun%202003)–  
(Diunduh tanggal 1 Juni 2011).