



UNIVERSITAS INDONESIA

**PERBANDINGAN PENGGUNAAN SURFAKTAN
PETROKIMIA DENGAN PENGGUNAAN SURFAKTAN
OLEOKIMIA DALAM PENGOLAHAN TANAH TERCEMAR
MINYAK BUMI DARI *SOIL BIOREMEDIATION FACILITIES*
PT CHEVRON PACIFIC INDONESIA DI MINAS, RIAU**

SKRIPSI

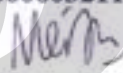
Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Memperoleh Gelar Sarjana

**MEISSA RIANI
0606032114**

**FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK LINGKUNGAN
DEPOK
JUNI 2010**

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

Skripsi ini adalah hasil karya saya sendiri, dan semua sumber baik yang dikutip maupun dirujuk telah saya nyatakan dengan benar.

Nama	: Meissa Riani
NPM	: 0606032114
Tanda Tangan	: 
Tanggal	: 28 Juni 2010



HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :
Nama : Meissa Riani
NPM : 0606032114
Program Studi : Teknik Lingkungan
Judul Skripsi :
Perbandingan Penggunaan Surfaktan Petrokimia Dengan Peng
Oleokimia Dalam Pengolahan Tanah Tercemar Minyak
Bioremediation Facilities PT, Chevron Pacific Indonesia Di Minas,

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Dewan Penguji dan
bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar
pada Program Studi Teknik Lingkungan, Fakultas Te
Indonesia

DEWAN PENGUJI

Pembimbing : Dr. Ir. Firdaus Ali, MSc. ()
Pembimbing : Evy Novita, ST. MSi. ()
Penguji : Dr. Ir. Djoko M. Hartono, SE. ()
Penguji : Ir. Irma Gusniani, MSc. ()

Ditetapkan di : Depok
Tanggal : 28 Juni 2010

KATA PENGANTAR

Puji syukur saya ucapkan kepada Tuhan Yang Maha Esa, karena atas berkat dan rahmat-Nya, saya dapat menyelesaikan tugas akhir ini. Penulisan tugas akhir ini dilakukan dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk mencapai gelar Sarjana Teknik Program Studi Teknik Lingkungan Departemen Teknik Sipil pada Fakultas Teknik Universitas Indonesia. Saya menyadari bahwa, tanpa bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak, dari masa perkuliahan sampai pada penyusunan, sangatlah sulit bagi saya untuk menyelesaikan tugas akhir ini. Oleh karena itu, saya mengucapkan terima kasih kepada:

- 1) Orang tua dan keluarga saya yang telah memberikan bantuan dukungan material dan moral;
- 2) Dr. Ir. Firdaus Ali, MSc. dan Evy Novita, ST. Msi., selaku dosen pembimbing yang telah menyediakan waktu, tenaga, dan pikiran untuk mengarahkan saya dalam penyusunan skripsi ini;
- 3) Pihak PT Chevron Pacific Indonesia yang telah memberikan izin dan fasilitas kepada penulis untuk mengadakan penelitian, khususnya kepada Bapak Zulfan dan Ibu Tio Ester Silalahi, selaku pembimbing di lapangan dan laboratorium yang telah membantu dan memberi banyak masukan dalam penyusunan skripsi ini;
- 4) Seluruh sahabat saya dari Teknik Lingkungan 2006 yang telah banyak memberikan dukungan dan membantu saya dalam menyelesaikan skripsi ini;
- 5) Diah, Mbak Licka, Mbak Dian, dan semua pihak yang telah banyak membantu dalam proses penyusunan skripsi ini.

Akhir kata, saya berharap Tuhan Yang Maha Esa berkenan membalas segala kebaikan semua pihak yang telah membantu. Semoga penelitian tugas akhir ini membawa manfaat bagi pengembangan ilmu.

Depok, 28 Juni 2010

Penulis



**HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI
TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS**

Sebagai sivitas akademik Universitas Indonesia, saya yang bertanda tangan di bawah

ini:

Nama : Meissa Riani
NPM : 0606032114
Program Studi : Teknik Lingkungan
Departemen : Teknik Sipil
Fakultas : Teknik
Jenis karya : Skripsi

demikian pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Indonesia **Hak Bebas Royalti Noneksklusif (*Non-exclusive Royalty-Free Right*)** atas karya ilmiah saya yang berjudul :

Perbandingan Penggunaan Surfaktan Petrokimia Dengan Penggunaan Surfaktan Oleokimia Dalam Pengolahan Tanah Tercemar Minyak Bumi dari *Soil Bioremediation Facilities* PT Chevron Pacific Indonesia Di Minas, Riau


berserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat, dan memublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok

Pada tanggal : 28 Juni 2010

Yang menyatakan

()

ABSTRAK

Nama : Meissa Riani
Program Studi : Teknik Lingkungan
Judul :
Perbandingan Penggunaan Surfaktan Petrokimia Dengan Penggunaan Surfaktan Oleokimia Dalam Pengolahan Tanah Tercemar Minyak Bumi Dari *Soil Bioremediation Facilities* PT Chevron Pacific Indonesia Di Minas, Riau

Tanah yang tercemar minyak bumi tergolong limbah bahan berbahaya dan beracun (limbah B3), maka dari itu tidak dapat dibuang langsung ke lingkungan. Salah satu metode yang digunakan untuk mengolah tanah yang tercemar minyak bumi adalah dengan teknik bioremediasi. Skripsi ini membahas mengenai kelebihan dan kelemahan yang ditunjukkan oleh proses bioremediasi dengan metode *landfarming* yang terlebih dahulu diberi tambahan dua jenis surfaktan yang berbeda, yaitu surfaktan petrokimia dan surfaktan oleokimia. Surfaktan petrokimia yang digunakan adalah *Linear Alkyl Benzene Sulfonate Acid* (LABSA) sedangkan surfaktan oleokimia yang digunakan adalah *Sodium Laureth Sulfate* (SLS). Surfaktan SLS memiliki kelebihan yaitu bersifat terbarukan dan dapat didegradasi secara alami.

Pada penelitian ini dilihat kinerja surfaktan SLS dibandingkan dengan kinerja surfaktan LABSA dalam menurunkan konsentrasi pencemar. Parameter pencemar yang diukur adalah kandungan *Total Petroleum Hydrocarbons* (TPH) dan metode penelitian yang digunakan adalah eksperimental. Dari data penurunan kandungan TPH terhadap waktu didapatkan bahwa sampel dengan penambahan surfaktan SLS mengalami penurunan kandungan TPH paling tinggi yaitu sekitar 64.41% dari kandungan TPH awal, diikuti dengan sampel yang diberi tambahan surfaktan LABSA yang mengalami penurunan kandungan TPH sebesar 58.56%, dan yang terakhir atau dengan kata lain kinerja yang paling rendah adalah sampel yang sama sekali tidak diberi tambahan surfaktan yaitu sebesar 38.14% dari kandungan TPH awal.

Kata kunci:

Bioremediasi, *landfarming*, surfaktan petrokimia, surfaktan oleokimia

ABSTRACT

Name : Meissa Riani
Study Program : Environmental Engineering
Title :
Comparative Use of Oleochemical Surfactant and Petrochemical Surfactant in Treatment of Petroleum Contaminated Soil from *Soil Bioremediation Facilities* PT Chevron Pacific Indonesia in Minas, Riau

Soil that contaminated by petroleum is classified as toxic and hazardous waste, and therefore can not be directly discharged into the environment. One of methods that can be used to treat petroleum-contaminated soil is bioremediation. This study discussed about the strengths and weaknesses of the bioremediation process with landfarming method where two different types of surfactants are added, that are petrochemical surfactant and oleochemical surfactant. Petrochemical surfactant used is the Linear Alkyl Benzene Sulfonate Acid (LABSA) whereas oleochemical surfactant used is Sodium Laureth Sulfate (SLS). Surfactant SLS has the advantages that they are renewable and can be degraded naturally.

In this study viewed the performance of SLS compared with the performance of LABSA in lowering the pollutant concentration. Parameter of pollutant that measured is the content of Total Petroleum Hydrocarbons (TPH) and research method used was experimental method. From the decreasing in TPH content versus time, data showed that the samples with the addition of SLS had the highest TPH content decreased to about 64.41% of the initial TPH content, followed by the samples that were given the additional surfactant LABSA that decreased TPH to 58.56%, and the last or the lowest performance is the sample that was not given any additional surfactant that reduced TPH content to 38.14% of the initial TPH content.

Key words:

Bioremediation, landfarming, petrochemical surfactant, oleochemical surfactant

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS.....	ii
HALAMAN PENGESAHAN.....	iii
KATA PENGANTAR	iv
PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH	vi
ABSTRAK	vii
ABSTRACT.....	viii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL.....	xiii
1. PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang Permasalahan	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan Penelitian.....	3
1.4 Manfaat Penelitian.....	4
1.5 Batasan Penelitian	4
2. STUDI KEPUSTAKAAN	5
2.1 Minyak Bumi.....	5
2.2 Bioremediasi.....	8
2.2.1. Pengertian Bioremediasi.....	8
2.2.2. Kelebihan dan Kelemahan Teknik Bioremediasi	9
2.2.3. Bioremediasi Lahan Tercemar	10
2.2.4. Teknik Bioremediasi <i>Landfarming</i>	11
2.2.5. Faktor yang Mempengaruhi Bioremediasi	13
2.2.6. Pertumbuhan Bakteri.....	13
2.2.7. Faktor yang Mempengaruhi Pertumbuhan Bakteri dan Biodegradasi	15
2.2.8. Penambahan Nutrisi.....	16
2.3 <i>Total Petroleum Hydrocarbons (TPH)</i>	16
2.3.1 Pengertian TPH	16
2.3.2 Degradasi Hidrokarbon	20
2.4 Surfaktan	28
3. GAMBARAN UMUM PT CHEVRON PACIFIC INDONESIA.....	30
3.1 Sejarah PT CPI.....	30
3.2 Kegiatan Operasi.....	34
3.3 Sejarah Bioremediasi PT CPI Minas	37
3.4 Fasilitas Bioremediasi di PT CPI Minas	39
4. METODE PENELITIAN	45
4.1 Kerangka Berpikir	45
4.2 Pendekatan Penelitian	48
4.3 Variabel Penelitian	48
4.4 Waktu dan Tempat Penelitian	49
4.5 Pengumpulan Data	49
4.6 Desain Penelitian.....	50

4.7 Analisis Data	59
5. HASIL DAN PEMBAHASAN	60
5.1. Data Awal Tanah.....	60
5.1.1. pH Tanah	61
5.1.2. Kelembapan (<i>Moisture Content</i>).....	61
5.1.3. Total Petroleum Hydrocarbon (TPH).....	62
5.1.4. Nutrisi (Nitrogen dan Fosfor).....	62
5.2. Kondisi Lingkungan Bioremediasi.....	64
5.3. Data Hasil Pengukuran.....	64
5.4. Penambahan Nutrisi	67
5.5. Analisis Kualitas Bioremediasi	68
5.5.1. Analisis Perlakuan Dengan Penambahan Surfaktan LABSA	69
5.5.2. Analisis Perlakuan Dengan Penambahan Surfaktan SLS.....	71
5.5.3. Analisis Perbedaan Konsentrasi Surfaktan Terhadap Sampel Tanah.....	73
5.6. Analisis Kelebihan dan Kekurangan Kedua Jenis Surfaktan	82
5.6.1. Analisis Dari Segi Kemudahan Operasi dan Monitoring.....	82
5.6.2. Analisis Dari Segi Toksisitas dan Tingkat Bahaya	83
5.6.3. Analisis Dari Segi Biaya	85
5.7. Perbandingan Dengan Proses Bioremediasi di PT CPI.....	87
5.8. Perbandingan Kondisi di Penelitian Dengan Kondisi di Lapangan	90
6. PENUTUP	93
6.1 Kesimpulan	93
6.2 Saran.....	94
DAFTAR REFERENSI	95

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Proses Produksi Minyak.....	7
Gambar 2.2. Struktur Karbon Alifatik	18
Gambar 2.3. Struktur Karbon Alisiklik.....	19
Gambar 2.4. Struktur Karbon Aromatik	20
Gambar 2.5.a. Degradasi n-alkana	21
Gambar 2.5.b. Degradasi n-alkana (sambungan).....	22
Gambar 2.6.a. Degradasi Awal Benzena	23
Gambar 2.6.b. Degradasi Awal Benzena (sambungan)	24
Gambar 2.7. Pembelahan Orto	25
Gambar 2.8. Pembelahan Meta	26
Gambar 2.9. Struktur Kimia LABSA.....	29
Gambar 2.10. Struktur Kimia SLS	29
Gambar 3.1. Area Operasi PT CPI.....	33
Gambar 3.2. Central Sumatra Area, luas, dan dan kontrak dengan Pemerintah Republik Indonesia	34
Gambar 3.3. Lokasi SBF di PT CPI Minas.....	40
Gambar 3.4. Desain Sistem Bioremediasi.....	41
Gambar 3.5 Diagram Proses Operasi SBF.....	42
Gambar 4.1. Kerangka Konsep	47
Gambar 4.2. Pengambilan Sampel Tanah	51
Gambar 4.3. <i>Hole Digger</i>	51
Gambar 4.4. Sampel yang Telah Ditimbang di Wadah	52
Gambar 4.5. Surfaktan LABSA	52
Gambar 4.6. Surfaktan SLS	52
Gambar 4.7. <i>Infrared Moisture Balance</i>	55
Gambar 4.8. pH Meter	56
Gambar 4.9. <i>TOG/TPH Analyzer</i>	57
Gambar 4.10. DR 4000	58
Gambar 4.11. Pengukuran Nitrogen	59
Gambar 4.12. Pengukuran Fosfor	59
Gambar 5.1. Pupuk Urea.....	63
Gambar 5.2. Pupuk TSP	63
Gambar 5.3. Dolomit.....	63
Gambar 5.4. Grafik Penurunan Kandungan TPH	68
Gambar 5.5. Pengaruh Surfaktan LABSA Terhadap Penurunan Kandungan TPH.....	69
Gambar 5.6. Pengaruh Surfaktan LABSA Terhadap Durasi Waktu.....	71
Gambar 5.7. Pengaruh Surfaktan SLS Terhadap Penurunan Kandungan TPH.....	72
Gambar 5.8. Pengaruh Surfaktan SLS Terhadap Durasi Waktu	73
Gambar 5.9. Pengaruh Penambahan Surfaktan Dosis 1.75% Terhadap Penurunan Kandungan TPH	74
Gambar 5.10. Pengaruh Penambahan Surfaktan Dosis 1.75% Terhadap Durasi Waktu	75

Gambar 5.11. Pengaruh Penambahan Surfaktan Dosis 2% Terhadap Penurunan Kandungan TPH	76
Gambar 5.12. Pengaruh Penambahan Surfaktan Dosis 2% Terhadap Durasi Waktu	77
Gambar 5.13. Pengaruh Penambahan Surfaktan Dosis 2.25% Terhadap Penurunan Kandungan TPH	78
Gambar 5.14. Pengaruh Penambahan Surfaktan Dosis 2.25% Terhadap Durasi Waktu	79
Gambar 5.15. Pengaruh Penambahan Surfaktan Dosis 2.5% Terhadap Penurunan Kandungan TPH	80
Gambar 5.16. Pengaruh Penambahan Surfaktan Dosis 2.5% Terhadap Durasi Waktu	81
Gambar 5.17. Grafik Penurunan Kandungan TPH SBF 8D-58 Pit C	88
Gambar 5.18. Perbandingan Penurunan Kandungan TPH di Lapangan dan Penelitian	89



DAFTAR TABEL

Tabel 2.1. Persyaratan Nilai Akhir Hasil Pengolahan Minyak Bumi Secara Biologis.....	11
Tabel 2.2. Kriteria Desain	12
Tabel 2.3. Sistem Biodegradasi Mikroorganisme dalam Katabolisme TPH	27
Tabel 3.1. <i>End Point Criteria</i>	38
Tabel 3.2. Koordinat lokasi dan luas setiap SBF	39
Tabel 5.1. Penamaan Sampel dan Perlakuan	60
Tabel 5.2. Data Awal Tanah	61
Tabel 5.3. Penyesuaian Kondisi Lingkungan.....	64
Tabel 5.4. Hasil Pengukuran Kandungan TPH Tanah	65
Tabel 5.5. Hasil Pengukuran pH Tanah	66
Tabel 5.6. Massa Pupuk yang Ditambahkan.....	68
Tabel 5.7. Presentase Penurunan Kandungan TPH Optimal.....	81
Tabel 5.8. Perbandingan Toksisitas dan Tingkat Bahaya Surfaktan LABSA dan Surfaktan SLS.....	84
Tabel 5.9. Perbandingan Penurunan Kandungan TPH di Lapangan dan di Penelitian	89
Tabel 6.1. Kelebihan dan Kekurangan Surfaktan LABSA dan Surfaktan SLS.....	93

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1. LATAR BELAKANG

Setiap tahun kebutuhan minyak bumi terus mengalami peningkatan seiring dengan tingginya kebutuhan energi sebagai akibat kemajuan teknologi dan kebutuhan hidup manusia. Sekitar 70% dari Produksi Minyak Indonesia diolah untuk menjadi Produk Bahan Bakar Minyak (BBM). Total konsumsi Bahan Bakar Minyak yang digunakan untuk transportasi, listrik, industri dan rumah tangga untuk tahun 2003 mencapai 54,7 Juta Kiloliter. Jumlah produksi minyak di Indonesia terus mengalami penurunan dikarenakan sumur-sumur tua yang mengalami penurunan secara alami, sedangkan konsumsi akan minyak terus meningkat. Produksi minyak sempat mengalami kenaikan yaitu dari 1.369.600 barel/hari pada tahun 1989 menjadi 1.638.800 barel/hari pada tahun 1996, namun kembali mengalami penurunan sehingga hanya berjumlah 1.147.500 barel/hari pada tahun 2005. Sedangkan data konsumsi minyak selalu menunjukkan peningkatan dari jumlah 469.900 barel/hari pada tahun 1986 hingga berjumlah 1.200.000 barel/hari pada tahun 2005 (EIA *International Energy Annual; Short-Term Energy Outlook*). Penurunan produksi minyak hingga saat ini dapat ditahan dengan menggunakan berbagai metode seperti *Enhanced Oil Recovery* (EOR) dan *steam flood* untuk mengoptimalkan lapangan-lapangan minyak yang ada, serta tentu saja upaya pengembangan lapangan-lapangan baru.

Peningkatan kebutuhan akan minyak ini mengakibatkan bertambahnya potensi pencemaran oleh minyak bumi terhadap lingkungan di mana kegiatan eksplorasi dan eksploitasi berlangsung. Penelitian di Jerman menunjukkan bahwa 0,5 - 0,75 ton minyak hilang untuk setiap 1000 ton minyak yang dihasilkan (Budianto, 2009). Kehilangan tersebut terjadi selama proses produksi dan pengilangan sebesar 0,1 ton, selama pengangkutan sebanyak 0,1 ton dan kehilangan terbanyak sebesar 0,4 ton terjadi selama penyimpanan. Kehilangan minyak ini menjadi salah satu penyebab terjadinya pencemaran di lingkungan sekitarnya. Berbagai kasus pencemaran limbah berbahaya dan beracun (B3) dari kegiatan penambangan minyak bumi yang terjadi di Indonesia memerlukan

perhatian yang lebih serius. Kasus pencemaran seperti yang terjadi di Tarakan (Kalimantan Timur), Riau, Sorong (Papua), Indramayu serta terakhir kasus pencemaran di Bojonegoro (Jawa Timur) seharusnya menjadi catatan penting bagi para pengelola penambangan minyak akan pentingnya pengelolaan pencemaran minyak di Indonesia (Budianto, 2009).

Berdasarkan Keputusan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 128 Tahun 2003 Tentang Tata Cara Persyaratan Teknis Pengolahan Limbah Minyak Bumi dan Tanah Terkontaminasi oleh Minyak Bumi Secara Biologis, limbah minyak dikategorikan sebagai limbah B3. Oleh karena itu, tanah yang tercemar minyak bumi perlu dikelola dan diolah sesuai dengan standar pengelolaan limbah B3 untuk mencegah penyebaran dan penyerapan minyak kedalam tanah. Salah satu cara memperbaiki kualitas tanah yang terkontaminasi minyak bumi adalah dengan teknik bioremediasi, di mana terdapat penggunaan surfaktan sebagai bahan yang dapat memecah kontaminan sebelum diproses secara bioremediasi.

Jenis surfaktan yang terdapat di pasaran terdiri dari surfaktan petrokimia dan surfaktan oleokimia. Surfaktan petrokimia umumnya memiliki rantai panjang dan tidak dapat digradasi secara alami. Sedangkan surfaktan oleokimia memiliki keunggulan antara lain bersifat terbarukan (*renewable resources*) dan secara alami mudah terdegradasi (Arbianti et al., 2008). Berdasarkan hal tersebut maka perlu diadakan suatu perbandingan untuk melihat kinerja surfaktan oleokimia dibandingkan dengan surfaktan petrokimia dan pengaruhnya terhadap proses bioremediasi.

1.2. RUMUSAN MASALAH

Salah satu cara pengolahan tanah yang tercemar minyak bumi dilakukan dengan menggunakan teknik bioremediasi. Sebelum dilakukan teknik bioremediasi, umumnya dilakukan pemberian surfaktan untuk mendegradasi limbah minyak. Jenis surfaktan yang umum digunakan ada yang berupa surfaktan petrokimia dan ada pula yang berupa surfaktan oleokimia. Penggunaan surfaktan petrokimia pada proses degradasi limbah minyak sangat membantu dalam meringankan beban pada proses bioremediasi sehingga hasil pengolahan menjadi lebih efektif. Namun surfaktan petrokimia umumnya memiliki struktur kimia yang

kompleks dan rantai yang panjang, sehingga pada akhir pengolahan surfaktan ini sendiri akan menjadi limbah yang sulit untuk didegradasi kembali. Berbeda dengan surfaktan petrokimia, surfaktan oleokimia umumnya bersifat lebih mudah untuk didegradasi dan ramah lingkungan sehingga diharapkan tidak menciptakan limbah surfaktan pada akhir proses pengolahan. Berdasarkan fakta tersebut, diambil suatu hipotesa awal bahwa penggunaan surfaktan oleokimia akan bersifat lebih aman dan ramah lingkungan dibandingkan dengan penggunaan surfaktan sintesis, namun belum tentu penggunaan surfaktan oleokimia akan lebih efektif dibandingkan dengan penggunaan surfaktan petrokimia dalam hal pengaruhnya terhadap teknik bioremediasi karena belum ada perbandingan yang sistematis dari segi keefektifan kedua jenis surfaktan ini.

Berdasarkan rumusan masalah sebagaimana dipaparkan di atas, maka diajukan pertanyaan penelitian sebagai berikut:

1. Bagaimana pengaruh perbedaan perlakuan dalam hal pemakaian surfaktan oleokimia dan surfaktan petrokimia terhadap kualitas *output* pengolahan tanah tercemar minyak bumi?
2. Apa kelebihan dan kekurangan dari pemakaian surfaktan oleokimia dibandingkan dengan surfaktan petrokimia terhadap teknik bioremediasi?

1.3. TUJUAN PENELITIAN

Tujuan dari penelitian ini nantinya diharapkan dapat menjawab pertanyaan yang timbul dari rumusan masalah penelitian, yaitu sebagai berikut:

1. Mengetahui pengaruh perbedaan perlakuan dalam hal pemakaian surfaktan oleokimia dan surfaktan petrokimia terhadap kualitas *output* pengolahan tanah tercemar minyak bumi.
2. Mengetahui kelebihan dan kekurangan dari pemakaian surfaktan oleokimia dibandingkan dengan surfaktan petrokimia terhadap teknik bioremediasi.

1.4. MANFAAT PENELITIAN

Penelitian ini memiliki beberapa manfaat baik bagi penulis sendiri, bagi perusahaan tempat dilaksanakannya penelitian, maupun bagi ilmu pengetahuan secara umum, yaitu sebagai berikut:

- Kemajuan ilmu dan pengetahuan pada umumnya dan bidang Teknik Lingkungan pada khususnya.
- Menjadi masukan dan dokumentasi ilmiah yang dapat digunakan bagi perusahaan tempat dilaksanakannya penelitian dalam pengkajian dan pengambilan keputusan terkait dengan pengelolaan lahan yang tercemar oleh limbah minyak.
- Menjadi referensi atau perbandingan dalam hal sistem pengelolaan lingkungan secara umum dan khususnya pengelolaan lahan tercemar limbah minyak.

1.5. BATASAN PENELITIAN

- Penggunaan contoh (sampel) tanah yang digunakan berasal dari *Soil Bioremediation Facility (SBF) 8D-58 Pit C*
- Parameter zat pencemar yang akan digunakan adalah kandungan *Total Petroleum Hydrocarbon (TPH)*
- Data yang digunakan adalah data tunggal
- Jenis surfaktan petrokimia yang digunakan adalah surfaktan *Linear Alkylbenzena Sulfonic Acid (LABSA)*
- Jenis surfaktan oleokimia yang digunakan adalah surfaktan *Sodium Laureth Sulfate (SLS)*
- Teknik remediasi yang akan digunakan mengacu kepada Keputusan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 128 Tahun 2003 Tentang Tata Cara Persyaratan Teknis Pengolahan Limbah Minyak Bumi dan Tanah Terkontaminasi oleh Minyak Bumi Secara Biologis dan Prosedur Bioremediasi yang diterapkan di PT Chevron Pacific Indonesia.

BAB 2 STUDI KEPUSTAKAAN

2.1. MINYAK BUMI

Pada umumnya minyak mengandung 85 persen karbon dan 12 persen hidrogen, 3 persen sisanya terdiri dari sejumlah kecil oksigen, nitrogen dan sulfur. Beberapa produk dan hasil sampingan dari penyulingan minyak antara lain adalah bensin (*gasoline*), minyak tanah (*kerosene*), pelumas, minyak gas dan bahan bakar gas, lilin, aspal, *petroleum coke*, dan berbagai material lainnya seperti *petrolatum* dan insektisida. Operasi pengolahan minyak hingga menjadi produk adalah proses yang sangat kompleks (Nemerow & Dasgupta).

Minyak bumi kasar (baru keluar dari sumur eksplorasi) mengandung ribuan macam zat kimia yang berbeda baik dalam bentuk gas, cair maupun padatan. Bahan utama yang terkandung di dalam minyak bumi adalah hidrokarbon alifatik dan aromatik. Minyak bumi mengandung senyawa nitrogen antara 0-0,5%, belerang 0-6%, dan oksigen 0-3,5%. Terdapat sedikitnya empat seri hidrokarbon yang terkandung di dalam minyak bumi, yaitu seri *n-paraffin* (n-alkana) yang terdiri atas metana (CH₄) sampai aspal yang memiliki atom karbon (C) lebih dari 25 pada rantainya, seri *iso-paraffin* (isoalkana) yang terdapat hanya sedikit dalam minyak bumi, seri neptena (sikloalkana) yang merupakan komponen kedua terbanyak setelah n-alkana, dan seri aromatik (Hadi, 2003).

Minyak mentah yang baru dipompakan ke luar dari tanah dan belum diproses umumnya tidak begitu bermanfaat. Agar dapat dimanfaatkan secara optimal, minyak mentah tersebut harus diproses terlebih dahulu di dalam kilang minyak. Minyak mentah merupakan campuran yang amat kompleks yang tersusun dari berbagai senyawa hidrokarbon. Di dalam kilang minyak tersebut, minyak mentah akan mengalami sejumlah proses yang akan memurnikan dan mengubah struktur dan komposisinya sehingga diperoleh produk yang bermanfaat. Secara garis besar, proses yang berlangsung di dalam kilang minyak dapat digolongkan menjadi 5 bagian, yaitu (Nemerow & Dasgupta):

- Proses Distilasi, yaitu proses penyulingan berdasarkan perbedaan titik didih; Proses ini berlangsung di Kolom Distilasi Atmosferik dan Kolom Destilasi Vakum.
- Proses Konversi, yaitu proses untuk mengubah ukuran dan struktur senyawa hidrokarbon. Termasuk dalam proses ini adalah:
- Dekomposisi dengan cara perengkahan termal dan katalis (*thermal and catalytic cracking*)
- Unifikasi melalui proses alkilasi dan polimerisasi
- Alterasi melalui proses isomerisasi dan *catalytic reforming*
- Proses Pengolahan (*treatment*). Proses ini dimaksudkan untuk menyiapkan fraksi-fraksi hidrokarbon untuk diolah lebih lanjut, juga untuk diolah menjadi produk akhir.
- Formulasi dan Pencampuran (*Blending*), yaitu proses pencampuran fraksi-fraksi hidrokarbon dan penambahan bahan aditif untuk mendapatkan produk akhir dengan spesifikasi tertentu.
- Proses-proses lainnya, antara lain meliputi: pengolahan limbah, proses penghilangan air asin (*sour-water stripping*), proses pemerolehan kembali sulfur (*sulphur recovery*), proses pemanasan, proses pendinginan, proses pembuatan hidrogen, dan proses-proses pendukung lainnya.

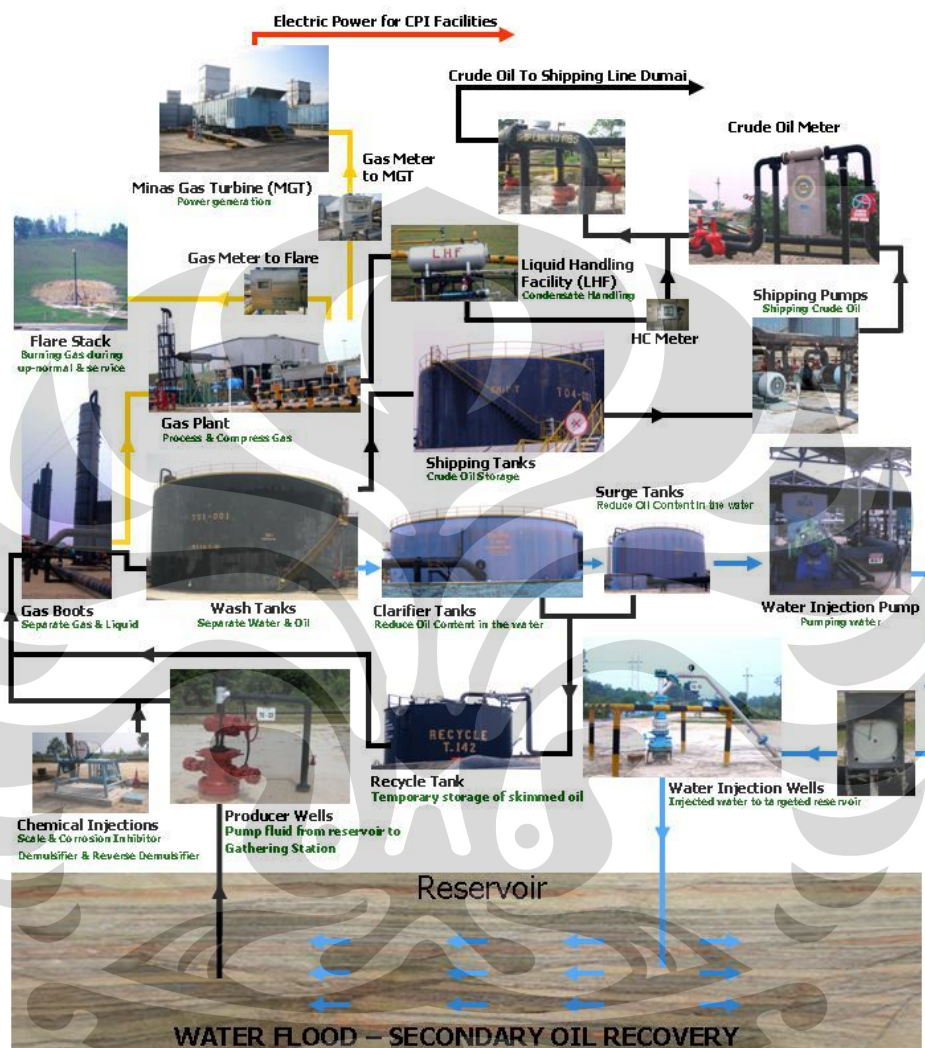
Berikut ini adalah gambar yang menunjukkan produksi minyak di Minas oleh PT Chevron Pacific Indonesia.



PT. Chevron Pacific Indonesia

FLUID PROCESS

MINAS TYPICAL



Sumber: PT Chevron Pacific Indonesia.

Gambar 2.1. Proses Produksi Minyak.

Limbah minyak, berdasarkan asalnya, dapat diklasifikasikan menjadi dua yaitu: (1) limbah yang berasal dari proses pengambilan minyak di ladang minyak dan (2) limbah yang berasal dari proses penyulingan minyak. Limbah dari ladang minyak adalah lumpur pengeboran, air asin, minyak (baik yang teremulsi maupun bebas), lumpur dari dasar tanki, dan gas alam. Sedangkan limbah dari penyulingan minyak meliputi minyak yang teremulsi yang berasal dari kebocoran, tumpahan, tanki yang tidak rapat, dan sumber lainnya; sumber limbah, sumber lumpur

(*sludge*), dan cairan alkali; lumpur yang bersifat asam dan air yang bersifat asam; pengemulsian pada pengolahan kimiawi; lumpur dari dasar tanki; kokas dari tabung peralatan; gas asam; limbah katalis dan lumpur dari filter; bahan kimia khusus dari proses produksi produk sampingan minyak; dan air pendingin (Nemerow & Dasgupta).

2.2. BIOREMEDIASI

2.2.1. Pengertian Bioremediasi

Selama beberapa tahun sistem pengolahan biologi telah diterapkan untuk menghilangkan kontaminan dari tiga media yaitu tanah, air, dan udara. Bioremediasi didefinisikan sebagai berbagai macam sistem rekayasa yang memanfaatkan mikroorganisme untuk mendegradasi bahan kimia organik. Degradasi bahan kimia organik oleh mikroorganisme adalah proses alami yang terjadi dan dibatasi secara fisik, kimiawi, dan oleh kondisi lingkungan. Tujuan akhir dari bioremediasi adalah memineralisasi kontaminan, yaitu dengan kata lain mengubah bahan kimia berbahaya menjadi senyawa tidak berbahaya seperti karbon dioksida atau semacam gas atau substansi anorganik, air, dan material sel untuk kebutuhan organisme pendegradasi (Eweis, et al, 1998).

Bioremediasi juga dapat diartikan sebagai pemanfaatan kemampuan mikroba tertentu, baik kelompok heterotrofik bakteri maupun fungi, untuk mendegradasi bahan-bahan organik berbahaya menjadi tidak berbahaya seperti karbon dioksida, metana, air, garam-garam anorganik, dan biomassa. Menurut Keputusan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 128 Tahun 2003 Tentang Tata Cara Persyaratan Teknis Pengolahan Limbah Minyak Bumi dan Tanah Terkontaminasi oleh Minyak Bumi Secara Biologis, bioremediasi didefinisikan sebagai proses pengolahan limbah minyak bumi yang sudah lama atau tumpahan/ceceraan minyak pada lahan terkontaminasi dengan memanfaatkan makhluk hidup termasuk mikroorganisme, tumbuhan atau organisme lain untuk mengurangi konsentrasi atau menghilangkan daya racun bahan pencemar. Adapun bioremediasi hidrokarbon minyak bumi mempunyai arti pemanfaatan mikroba untuk menyelamatkan lahan atau permukaan laut dari tumpahan hidrokarbon minyak bumi. Mikroba dapat memanfaatkan karbon dan energi untuk

pertumbuhan melalui biodegradasi bahan organik kontaminan atau transformasi lebih kompleks, bahan kimia sintesis (Nugroho, 2006).

Bioremediasi sebaiknya melibatkan pengontrolan terhadap adanya transpor kontaminan, misalnya selubung untuk mengumpulkan bahan yang mudah menguap (*volatile material*) atau *monitoring well* untuk mendeteksi perpindahan kontaminan. Selain itu, “bukti” bahwa telah terjadi proses biodegradasi juga harus diperoleh. Bukti ini bisa berupa peningkatan aktivitas mikroba, peningkatan jumlah karbon dioksida yang dihasilkan, peningkatan konsumsi oksigen, atau adanya hasil dari proses metabolisme (Eweis, et al., 1998).

2.2.2. Kelebihan dan Kelemahan Teknik Bioremediasi

Bioremediasi menawarkan berbagai keuntungan dibandingkan proses pengolahan fisik dan kimiawi yang biasanya dilakukan untuk mengolah tanah dan air terkontaminasi. Biaya pembersihan menggunakan bioremediasi biasanya \$100 sampai \$250 per meter kubik tanah sedangkan teknologi konvensional lainnya seperti insinerasi atau *secure landfilling* bisa menghabiskan biaya dari \$250 hingga \$1,000 per meter kubik tanah (Gabriel, 1992). Keuntungan lain dari bioremediasi adalah prosesnya yang mengandalkan biodegradasi dan detoksifikasi kontaminan beracun, di mana teknologi lainnya seperti venting, penyerapan (*adsorption*) dengan karbon aktif, solidifikasi atau stabilisasi, penyucian tanah (*soil washing*), dan pembuangan ke *landfill* hanya memindahkan kontaminan ke media atau lokasi berbeda. Bioremediasi juga teknologi yang relatif sederhana dibandingkan yang lain. Bioremediasi di tempat dapat dilakukan dengan gangguan yang minimal terhadap lahan, emisi senyawa volatil dan risiko kesehatan yang minimal bagi penduduk sekitar atau pekerja di unit pengolahan. Bioremediasi juga memiliki kelemahan dalam penerapannya. Kelemahan yang paling utama adalah kesulitan dalam memprediksi kinerja dan kesulitan dalam *scale up* dari tes laboratorium atau *pilot-plant*. Keberhasilan dari proyek bioremediasi tergantung dari kemampuan operator proses untuk menciptakan dan memelihara kondisi lingkungan yang memungkinkan untuk pertumbuhan mikroba. Mikroorganisme sangat sensitif terhadap temperatur, pH, toksisitas kontaminan, dan konsentrasi kontaminan, kelembapan, konsentrasi nutrisi, dan

konsentrasi oksigen. Penurunan aktifitas mikroba akan memperlambat degradasi dan memperpanjang masa pengolahan. Jika aktifitas mikroba berhenti (misalnya akibat adanya metabolit racun), untuk memulai kembali proses tersebut akan sangat sulit. Tujuan pembersihan tidak mungkin tercapai dengan bioremediasi karena beberapa kontaminan tidak bersifat biodegradabel atau hanya sebagian biodegradabel atau karena tingkat pembuangan kontaminannya tidak dapat dicapai secara mikrobiologis. Karena mengurangi tingkat kontaminan, degradasi biologis akan melambat dan mikroorganisme akan beralih ke sumber energi lain atau berhenti tumbuh sama sekali. Pada kasus seperti itu, bioremediasi tidak akan cukup untuk mengolah sebuah lahan dan teknologi pengolahan lain mungkin harus diterapkan. Kelemahan yang lainnya adalah, bioremediasi biasanya bersifat memakan waktu lama. Waktu yang dibutuhkan untuk remediasi sebuah lahan umumnya tergantung pada kecepatan kontaminan untuk didegradasi. (Eweis, et al., 1998).

2.2.3. Bioremediasi Pada Lahan Tercemar

Bioremediasi lahan tercemar dapat dilakukan langsung di tempat tersebut (*in situ*), atau tanah dapat digali dan diolah on site atau di fasilitas pengolahan yang terpisah. Metode pengolahan *in situ* meliputi soil venting, jika kontaminan yang mudah menguap dominan, dan bioventing di mana jika terdapat kontaminan semivolatil dan nonvolatil. Proses pengolahan *ex-situ* meliputi *land treatment* (biasanya dalam bentuk *landfarming*), *composting*, dan *slurry-phase bioreactors*. Baik pengolahan *in situ* maupun *ex-situ* sering melibatkan kombinasi dari proses operasi biologis dan nonbiologis (Eweis, et al., 1998).

Teknik bioremediasi melibatkan penggunaan mikroorganisme untuk mendegradasi kontaminan organik secara kimiawi. Proses aerobik menggunakan mikroorganisme yang membutuhkan oksigen untuk dapat mendegradasi kontaminan. Pada beberapa kasus, nutrisi tambahan seperti nitrogen dan fosfor juga diperlukan untuk meningkatkan pertumbuhan mikroorganisme pendegradasi. Adapun beberapa jenis mikroorganisme yang umum digunakan dalam teknik bioremediasi terhadap limbah minyak antara lain adalah *Pseudomonas*, *Proteus*, *Bacillus*, *Penicillium*, dan *Cunninghamella* (Dutta, 2002). Hasil akhir dari proses

pengolahan secara biologis harus memenuhi kriteria sebagaimana yang terdapat dalam tabel berikut ini.

Tabel 2.1. Persyaratan nilai akhir hasil pengolahan minyak bumi secara biologis.

No	Parameter	Satuan	Nilai akhir hasil olahan
A	Analisis limbah *		
1	PH	-	6-9
2	TPH	($\mu\text{g/g}$)	10.000
3	Benzene	($\mu\text{g/g}$)	1
4	Toluene	($\mu\text{g/g}$)	10
5	Ethylbenzene	($\mu\text{g/g}$)	10
6	Xylene	($\mu\text{g/g}$)	10
7	Total PAH	($\mu\text{g/g}$)	10
B	Analisis TCLP		
1	Pb	(mg/L)	5
2	As	(mg/L)	5
3	Ba	(mg/L)	150
4	Cd	(mg/L)	1
5	Cr	(mg/L)	5
6	Cu	(mg/L)	10
7	Hg	(mg/L)	0,2
8	Se	(mg/L)	1
9	Zn	(mg/L)	50

Sumber: Keputusan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 128 Tahun 2003 Tentang Tata Cara Persyaratan Teknis Pengolahan Limbah Minyak Bumi dan Tanah Terkontaminasi oleh Minyak Bumi Secara Biologis

Ada beberapa jenis teknik bioremediasi yang dapat diterapkan pada lahan yang tercemar limbah minyak, yaitu sebagai berikut (Dutta, 2002):

- *Solid Phase Bioremediation*
- *Bioventing*
- *Landfarming*
- Fitoremediasi
- Biodegradasi In Situ

2.2.4. Teknik Bioremediasi Landfarming

Teknik bioremediasi *landfarming* adalah proses pengolahan limbah minyak bumi dengan cara menyebarkan dan mengaduk limbah sampai merata di atas lahan dengan ketebalan tertentu (sekitar 20 – 50 cm) sehingga proses

penguraian limbah minyak bumi secara mikrobiologis dapat terjadi (Keputusan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 128 Tahun 2003 Tentang Tata Cara Persyaratan Teknis Pengolahan Limbah Minyak Bumi dan Tanah Terkontaminasi oleh Minyak Bumi Secara Biologis). Pada teknik bioremediasi *landfarming*, tanah yang terkontaminasi dicampur dengan *bulking agent* dan nutrisi. Material diolah secara periodik untuk proses aerasi. Kontaminan didegradasi, ditransformasi, dan dibekukan oleh proses mikrobiologis dan oksidasi. Kondisi tanah dikontrol untuk mengoptimalkan laju degradasi kontaminan. Kadar air, frekuensi aerasi, dan pH adalah komponen yang dikontrol. *Landfarming* berbeda dengan kompos karena pada proses ini tanah tercemar dimasukkan ke dalam tanah yang tidak tercemar. Proses degradasi dari *landfarming* menggunakan prinsip biologis. Oksidasi fotokimiawi dapat terjadi secara signifikan di beberapa kasus. Emisi dari kontaminan ke atmosfer melalui proses volatilisasi sering menjadi hambatan terhadap aplikasi *landfarming*. Berikut ini adalah kriteria desain dari teknik bioremediasi menurut berbagai sumber.

Tabel 2.2. Kriteria Desain Bioremediasi.

	KepMen 128	Cookson, 1995	Ewels, 1998	US Navy	US Army
Dasar					
Kemiringan	< 12%		0.5 – 1%	1 – 2%	
Lapisan pasir		2 – 4 ft	23 – 25 cm		
Lapisan lempung	60 cm			15 – 25 cm	0.5 – 1 m
HDPE*	Minimal 1.5 mm	80 mil	60 – 80 mil	40 – 60 mil	40 – 60 mil
Land farming					
Lapisan tanah		1 – 5 ft	15 – 50 cm		9 – 12 in
<i>Berm</i>	Di sekeliling unit		Kemiringan < 45 ⁰		
<i>Freeboard</i>			30 cm		1 ft
Drainase Sistem	Saluran dan parit		<i>Perforated pipe Sump well Pit</i>	<i>Slotted pipe PVC Tank</i>	Pipa plastik atau baja
Lapisan kerikil		6 in			

Sumber: Sumarsih, 2008.

*) *High Density Polyethylene*

2.2.5. Faktor yang Mempengaruhi Bioremediasi

Faktor yang mempengaruhi keefektifan bioremediasi dapat dibagi ke dalam tiga kelompok utama; lingkungan, fisik, dan kimiawi. Dalam merancang dan mengoperasikan proses bioremediasi harus mempertimbangkan ketiga faktor tersebut. Pemantauan kondisi di sistem operasi biasanya merupakan pengeluaran terbesar dalam bioremediasi.

1. Faktor Lingkungan, adalah faktor-faktor yang menyebabkan terciptanya kondisi pertumbuhan optimum agar mikroorganisme dapat melaksanakan reaksi bioremediasi.

- Temperatur
- pH
- ketersediaan nutrisi
- oksigen
- kelembapan

2. Faktor fisik

- Ketersediaan kontaminan terhadap mikroorganisme
- Ketersediaan air
- Persediaan reseptor elektron, misalnya oksigen

3. Faktor kimiawi

- Struktur molekul dari kontaminan
- Bagaimana pengaruh struktur molekul kontaminan terhadap sifat fisik dan kimianya
- Biodegradabilitas kontaminan, berhubungan dengan solubilitas, tingkat cabang, tingkat jenuh, dan sifat dan tingkat dari substitusinya.

2.2.6. Pertumbuhan Bakteri

Pertumbuhan secara sederhana didefinisikan sebagai peningkatan jumlah mikroorganisme per satuan waktu. Hampir seluruh bakteri bereproduksi dengan cara pembelahan biner, di mana dua sel baru terbentuk dari satu sel induk. Waktu yang diperlukan untuk membentuk dua sel baru dari sel induk yang sama ini disebut *generation time*. *Generation time* bervariasi tergantung spesies dan

kondisi pertumbuhan. Berdasarkan pembelahan biner itu sendiri pertumbuhan diharapkan bersifat eksponensial selama sel terus memperbanyak diri. Namun pertumbuhan secara eksponensial ini hanya dapat mencapai jumlah tertentu karena akan terjadi kehabisan nutrisi ataupun adanya faktor lingkungan lain yang membatasi pertumbuhan. Siklus pertumbuhan dapat dibagi menjadi empat fase dasar: lag, eksponensial, stationary, dan kematian (Eweis et al., 1998):

- *Lag Phase*

Lag phase adalah waktu yang dibutuhkan oleh bakteri untuk mempersiapkan diri di lingkungan baru sebelum mulai berkembang biak. Selama *lag phase* kecepatan pertumbuhan mendekati nol.

- Pertumbuhan eksponensial

Pertumbuhan eksponensial umumnya terjadi saat bakteri menggandakan diri selama nutrisi tersedia untuk membentuk sel-sel baru. Faktor yang umumnya membatasi pertumbuhan eksponensial adalah konsentrasi substrat, penurunan tingkat oksigen (di mana oksigen dibutuhkan untuk biodegradasi), kekurangan nutrisi, akumulasi dari produk toksik hasil biodegradasi, atau perubahan pH. Pada sistem tertutup akan dihasilkan CO₂ yang akan menurunkan pH dan mempengaruhi kecepatan pertumbuhan.

- Fase Stasioner

Fase stasioner dimulai ketika kecepatan pertumbuhan spesifik turun hingga mendekati nol selama masa pertumbuhan. Pada banyak kasus durasi dari fase stasioner adalah 12 hingga 36 jam. Pertumbuhan tidak berhenti, tetapi mendekati nol. Aktifitas metabolisme keseluruhan sangat rendah. Sel mungkin akan membentuk kista atau memasuki bentuk lain untuk bertahan hidup selama terjadinya kekurangan nutrisi.

- Kematian

Ketika bakteri berhenti tumbuh maka akan terjadi kematian. Kematian secara sederhana diartikan sebagai tidak aktifnya aktifitas metabolisme, atau bisa saja dekomposisi sel yang sebenarnya.

2.2.7. Faktor yang Mempengaruhi Pertumbuhan Bakteri dan Biodegradasi

Berbagai macam faktor mempengaruhi pertumbuhan bakteri dan kemampuannya dalam mendegradasi kontaminan pada tanah. Berikut ini adalah faktor-faktor tersebut (Eweis et al., 1998):

1. pH Tanah

pH tanah dapat mempengaruhi aktifitas mikroba secara signifikan. Pertumbuhan hampir seluruh mikroorganisme biasanya paling baik di pH 6 hingga 8, walaupun beberapa fungi dapat hidup dengan baik di pH kurang dari 5. Kondisi asam atau basa yang tinggi umumnya menghambat aktifitas mikroba, dan hampir seluruh bakteri membutuhkan kondisi pH yang netral. pH tanah juga mempengaruhi kelarutan fosfor, sebagai nutrisi penting bagi mikroba, dan perpindahan dari logam berbahaya dalam tanah. Kelarutan fosfor maksimum terjadi pada pH 6.5 dan perpindahan logam minimum terjadi pada pH lebih besar dari 6 (Sims et al., 1990). Sebagian besar tanah alami bersifat asam. Untuk menaikkan pH dapat ditambahkan senyawa yang mengandung kalsium atau magnesium ke dalam tanah. Proses ini dikenal sebagai pengkapuran, dan contoh senyawa yang digunakan adalah kalsium oksida, kalsium hidroksida, kalsium karbonat, magnesium karbonat, dan kalsium silikat. Jika pH tanah tinggi, karena konsentrasi karbonat yang tinggi atau karena adanya limbah berbahaya dengan pH tinggi, maka pengasaman dapat dilakukan. Pengasaman, atau penurunan pH tanah, dapat dilakukan dengan menambahkan sulfur atau senyawa yang mengandung sulfur seperti asam sulfur, amonium polisulfida cair, dan aluminium dan besi sulfat (Dupont et al., 1988).

2. Suhu

Suhu tanah dapat berpengaruh besar dalam aktifitas mikroba dan kecepatan biodegradasi. Spesies bakteri umumnya tumbuh dengan baik di range suhu kamar. Pada lapangan, perubahan iklim dan cuaca akan menentukan suhu tanah, dan sekaligus kecepatan biodegradasi.

3. Kelembaban

Kelembaban tanah sangat berpengaruh terhadap aktifitas biologis. Air adalah komponen utama dari protoplasma bakteri, dan tambahan suplai air sangat

penting untuk pertumbuhan dan pemeliharaan mikroba. Air juga berfungsi sebagai medium untuk membawa senyawa organik dan nutrisi ke dalam sel dan membawa produk sisa metabolisme ke luar dari sel. Kandungan air pada tanah mempengaruhi aerasi (perpindahan oksigen), kelarutan konstituen tanah, dan pH. Kelembapan tanah yang terlalu rendah mengakibatkan kekeringan dan penurunan aktifitas mikroba. Namun kelembapan tanah yang terlalu tinggi menghambat pertukaran gas dan menyebabkan terjadinya proses anaerobik yang akan mengeliminasi bakteri aerobik dan meningkatkan jumlah bakteri anaerobik.

4. Faktor Substrat

5. Faktor Mikrobiologis

Transformasi biologis dari senyawa organik dikatalisasi oleh enzim. Biodegradasi senyawa spesifik merupakan proses yang melibatkan berbagai macam enzim dan berbagai macam organisme.

2.2.8. Penambahan Nutrisi

Penambahan nutrisi anorganik sering dilakukan untuk menghindari kurangnya ketersediaan nitrogen dan fosfor di tanah secara alami. Tes laboratorium dapat dilakukan untuk menemukan rasio C:N:P yang optimum untuk mendegradasi limbah. Rasio 100 hingga 300:10:1 biasanya umum digunakan. McGinnis et al. (1991) dan Fogel (1994) menunjukkan bahwa penambahan nutrisi dapat meningkatkan kecepatan biodegradasi. Namun penambahan konsentrasi nutrisi yang tinggi dapat menyebabkan dua masalah, yang pertama adalah biaya yang besar, dan kedua adalah adanya efek salinitas dan tekanan osmosis (Eweis et al., 1998).

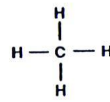
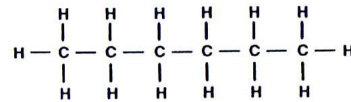
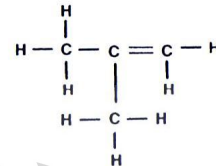
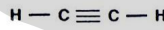
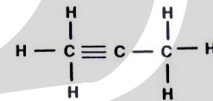
2.3. TOTAL PETROLEUM HYDROCARBON (TPH)

2.3.1. Pengertian TPH

Total petroleum hydrocarbons (TPH) adalah istilah yang digunakan untuk menggambarkan ratusan senyawa kimia yang merupakan keluarga besar dan berasal dari minyak mentah. Minyak mentah digunakan untuk menghasilkan

produk minyak bumi yang dapat mencemari lingkungan. Minyak mentah dan produk minyak bumi lainnya mengandung banyak sekali bahan kimia yang berbeda, sehingga sangat tidak praktis untuk mengukur masing-masing bahan kimia ini secara terpisah. Oleh karena itu lebih menguntungkan untuk mengukurnya sebagai jumlah total dari TPH. TPH merupakan gabungan dari bahan-bahan kimia yang pada umumnya terbentuk dari hidrogen dan karbon, sehingga disebut dengan hidrokarbon. Para ilmuwan membagi TPH ke dalam golongan hidrokarbon minyak bumi yang terdapat pada tanah atau air. Golongan ini dinamakan fraksi hidrokarbon minyak bumi. Setiap fraksi mengandung banyak bahan kimia tunggal. Beberapa bahan kimia yang dapat ditemukan dalam TPH adalah heksana, bahan bakar jet, minyak mineral, benzena, toluena, xylene, naftalena, dan fluorena, seperti komponen produk minyak bumi dan bahan bakar lainnya. Biasanya sampel TPH hanya mengandung beberapa atau gabungan dari bahan-bahan kimia ini (ATSDR, 1999). Istilah TPH juga diartikan sebagai gabungan dari hidrokarbon minyak bumi yang terbentuk dari senyawa-senyawa yang memiliki atom karbon mulai dari C_5 hingga C_{36} yang berasal dari minyak bumi dan telah dianalisa dengan EPA *Modified Method* 8015D (IDEM, 2006).

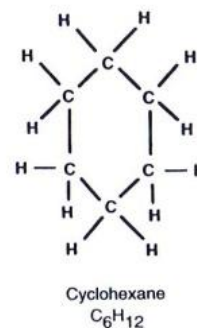
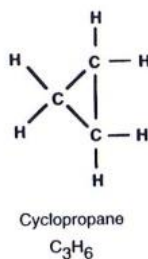
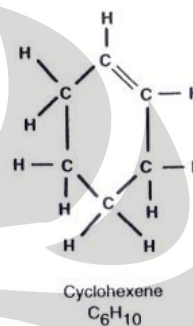
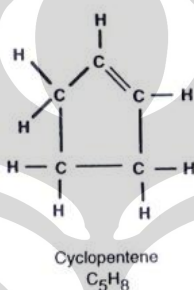
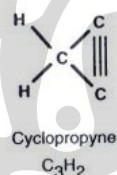
Hidrokarbon adalah kelompok senyawa kimia yang terdiri dari karbon dan hidrogen. Terdapat tiga kategori besar dari hidrokarbon, yaitu hidrokarbon alifatik, hidrokarbon alisiklik, dan hidrokarbon aromatik. Hidrokarbon alifatik adalah rangkaian rantai lurus ataupun bercabang dari atom karbon dengan beberapa atom hidrogen secukupnya untuk melengkapi valensi dari atom – atom karbon. Hidrokarbon alifatik diklasifikasikan atas alkana, alkena, dan alkuna tergantung dari keberadaan ikatan rangkap dua atau rangkap tiga pada rantai karbon.

(1) Alkanes (C_nH_{2n+2})Methane
 CH_4 Hexane
 C_6H_{14} (2) Alkenes (C_nH_{2n})Ethene
 C_2H_4 2-Methylpropene
(isobutylene)
 C_4H_8 (3) Alkynes (C_nH_{2n-2})Ethyne
(acetylene)
 C_2H_2 2-butyne
(dimethylacetylene)
 C_4H_6

Sumber: Baker&Herson, 1994.

Gambar 2.2. Struktur Hidrokarbon Alifatik.

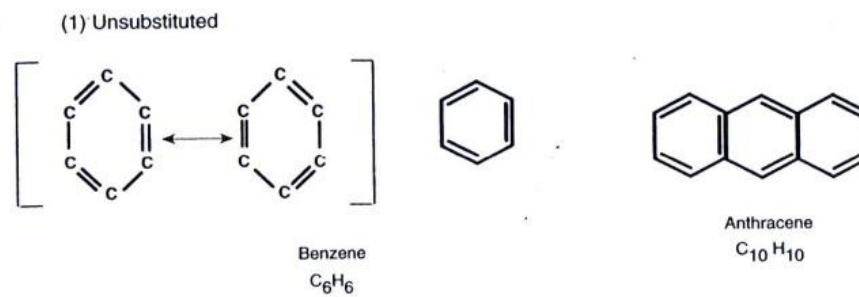
Hidrokarbon alisiklik ditandai dengan adanya struktur cincin karbon. Hidrokarbon alisiklik ini diklasifikasikan atas sikloalkana, sikloalkena, dan sikloalkuna.

(1) Cycloalkanes (C_nH_{2n})(2) Cycloalkenes (C_nH_{2n-2})(3) Cycloalkynes (C_nH_{2n-4})

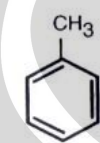
Sumber: Baker&Herson, 1994.

Gambar 2.3. Struktur Hidrokarbon Alisiklik.

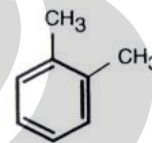
Senyawa hidrokarbon aromatik ditandai dengan adanya satu atau lebih cincin yang terdiri dari enam atom karbon yang beresonansi dan stabil. Senyawa aromatik yang tidak tersubstitusi meliputi benzena dan PAH seperti anthracene. Penting untuk diketahui bahwa sejumlah senyawa aromatik yang tersubstitusi merupakan polutan berbahaya.



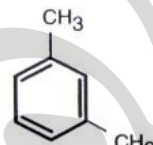
(2) Substituted Aromatic Compounds



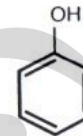
Methylbenzene
(toluene)
 C_7H_8



Ortho-xylene



Meta-xylene



Phenol
 C_6H_5OH

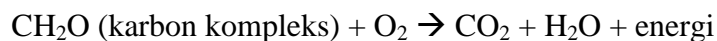
Sumber: Baker&Herson, 1994.

Gambar 2.4. Struktur Hidrokarbon Aromatik.

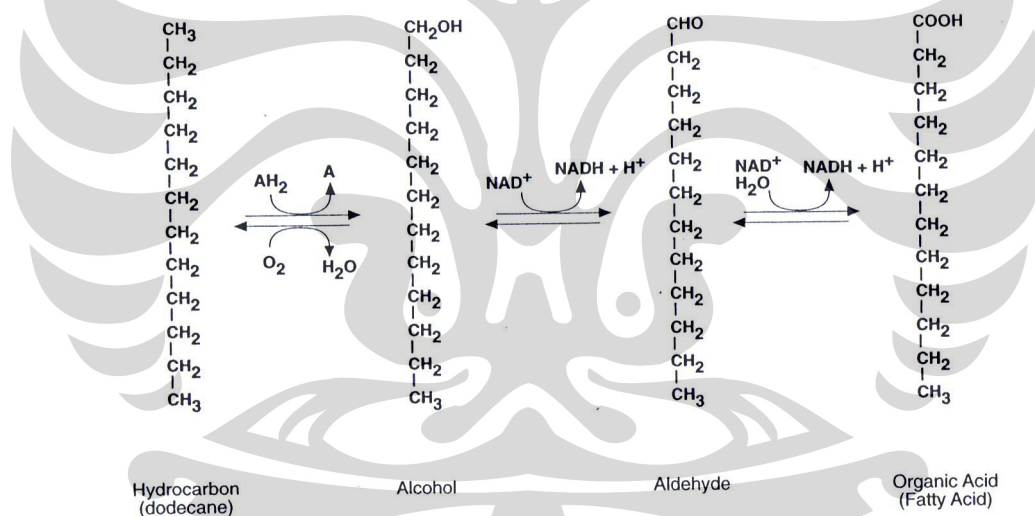
2.3.2. Degradasi Hidrokarbon

Mc. Millen dan Lambertz mendefinisikan biodegradasi limbah hidrokarbon minyak bumi sebagai suatu proses yang memanfaatkan aktivitas mikroorganisme untuk mengubah senyawa hidrokarbon/zat organik lainnya yang kompleks menjadi senyawa yang lebih sederhana secara terus menerus sehingga dapat dimineralisasi menjadi komponen non toksik dengan hasil akhir berupa karbondioksida, air, dan energi bila proses tersebut bersifat aerob (Suardana, 2004).

Bakteri memecah senyawa organik kompleks melalui rangkaian reaksi kimia ganda yang disebut katabolisme. Untuk bakteri yang bernapas, rute sentral yang dilibatkan dalam metabolisme adalah glikolisis, siklus Krebs, dan sistem transpor elektron. Reaksi keseluruhan secara umum adalah sebagai berikut (Baker&Herson, 1994):

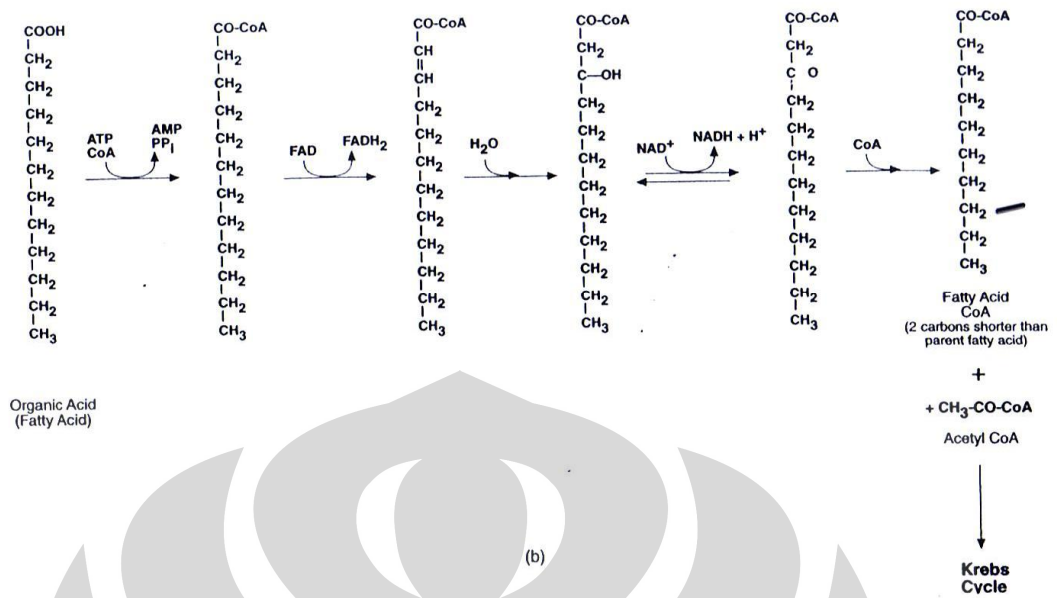


Alkana rantai lurus umumnya didegradasi melalui oksidasi golongan metil terminal, diikuti oleh pembelahan molekul antara dua dan tiga karbon pada rantai (pembelahan β). Rute lainnya, seperti oksidasi subterminal *methane monooxygenase* ditemukan dan didokumentasikan pada *Ps. methanica*. Gambar 2.4.a dan Gambar 2.4.b menunjukkan degradasi hidrokarbon oleh oksidasi golongan metil terminal.



Sumber: Baker&Herson, 1994.

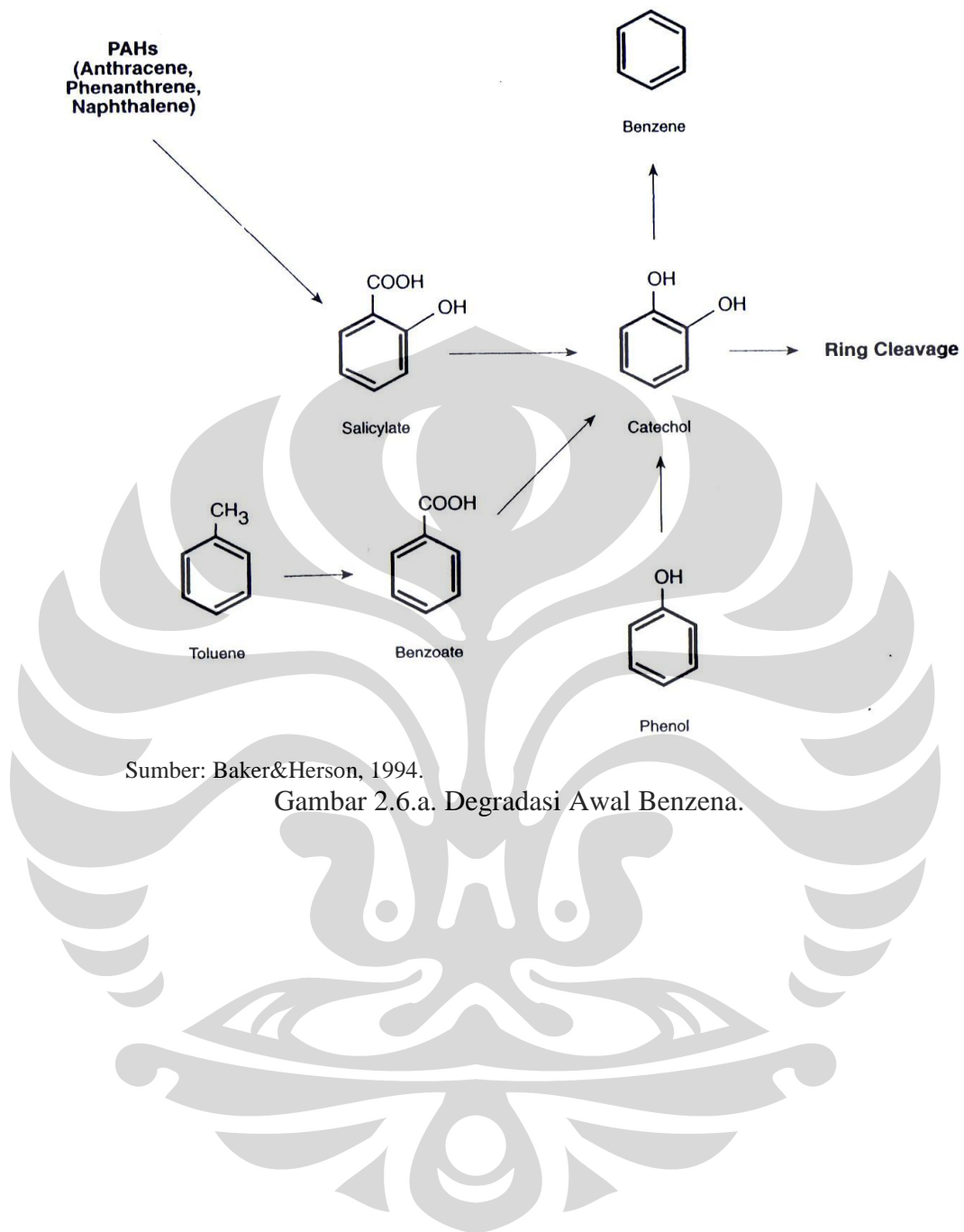
Gambar 2.5.a. Degradasi n-alkana.

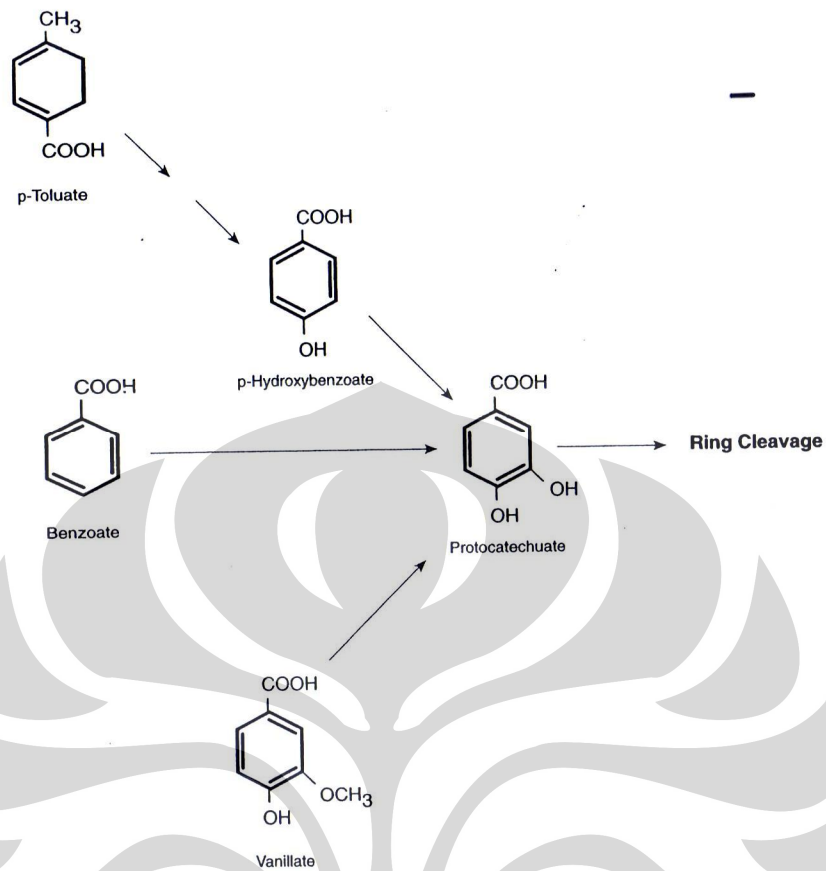


Sumber: Baker&Herson, 1994.

Gambar 2.5.b. Degradasi n-alkana (sambungan).

Benzena didegradasi dengan cara dikonversi terlebih dahulu menjadi *catechol* atau *tocatechuate*. Langkah selanjutnya adalah pembelahan inti sel aromatik pada senyawa dengan satu atau dua rute, rute pembelahan orto dan atau rute pembelahan meta.

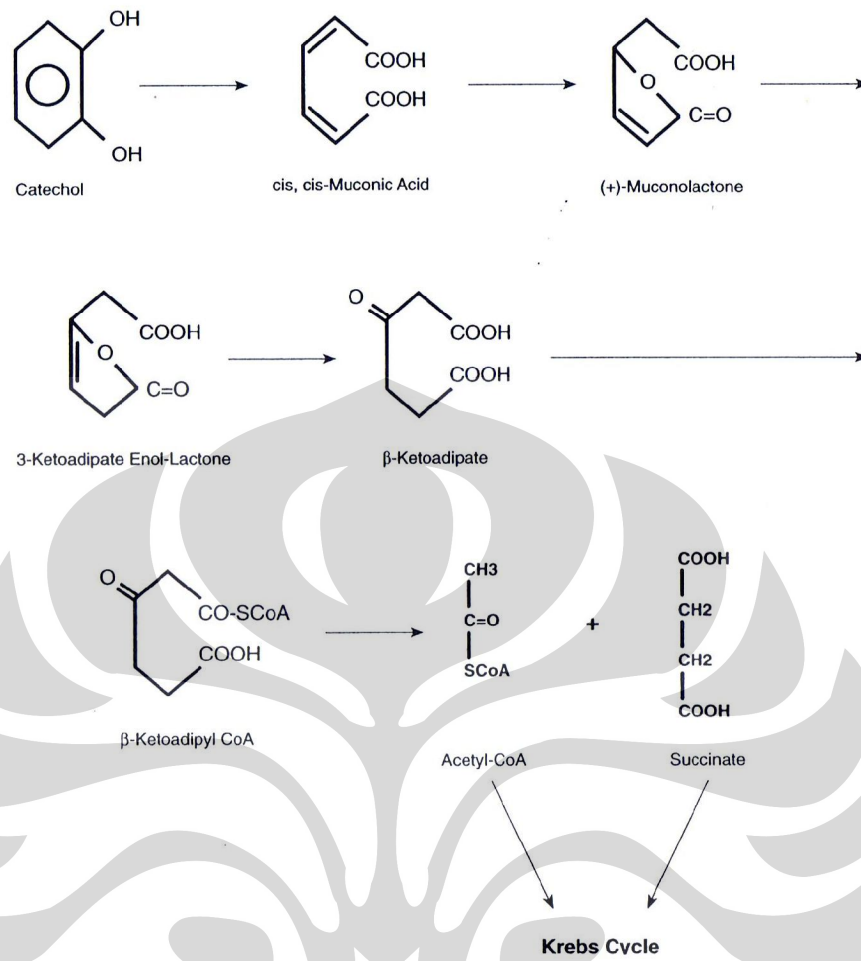




Sumber: Baker&Herson, 1994.

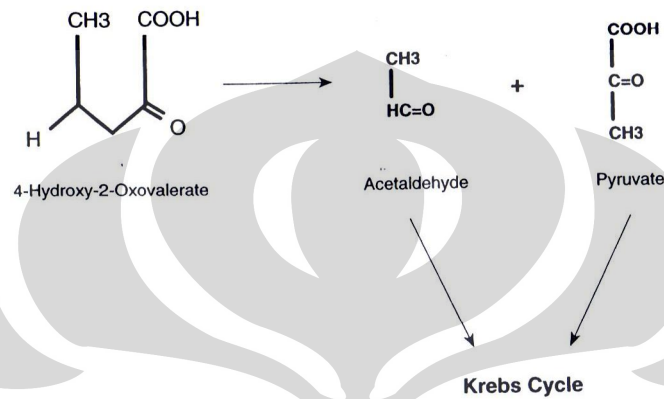
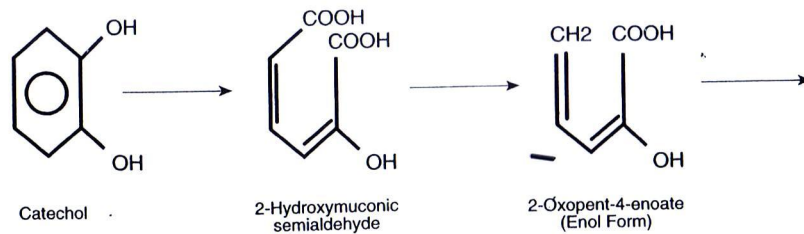
Gambar 2.5.a. Degradasi Awal Benzena (sambungan).

Pada rute pembelahan orto dan pembelahan meta, cincin aromatik pada *catechol* dibuka dengan memasukkan molekul oksigen ke dalam struktur.



Sumber: Baker&Herson, 1994.

Gambar 2.7. Pembelahan Orto.



Sumber: Baker&Herson, 1994.

Gambar 2.8. Pembelahan Meta.

Biodegradasi melibatkan pemecahan senyawa organik baik melalui biotransformasi menjadi metabolit yang lebih sederhana maupun melalui mineralisasi menjadi material anorganik, H_2O , CO_2 (aerob) atau CH_4 (anaerob). Baik bakteri maupun jamur dapat mendegradasi berbagai polutan lingkungan, termasuk *Polycyclic Aromatic Hydrocarbon* (PAH), *halogenated hydrocarbons*, dan senyawa nitroaromatik. Beberapa sistem biodegradasi yang digunakan oleh mikroorganisme dalam katabolisme TPH pada tanah ditunjukkan pada tabel berikut (Singh&Ward, 2004).

Tabel 2.3. Sistem Biodegradasi Mikroorganisme dalam Katabolisme TPH.

	Katabolisme	Referensi
Aerob	Alkana - Konversi alkana menjadi alkohol melalui monooksigenasi / hidrosilasi dilanjutkan dengan pembentukan aldehida dan asam tepat sebelum oksidasi-b (misalnya <i>OCT plasmid</i> dari <i>Pseudomonas putida Gp1</i>) - Juga pembentukan alkana menjadi aldehida melalui dioksigenasi (misalnya <i>Acinetobacter</i> sp. M1) - Mekanisme lainnya yang dimulai dengan reaksi tak jenuh	van Beilen et al. (1994); Atlas dan Cerniglia (1995); Ward et al. (2003)
	Monoaromatik Pemecahan cincin aromatik melalui oksigenasi menghasilkan dihydrodiol, kemudian dikonversi membentuk <i>catechol</i> , pemecahan cincin <i>catechol</i> dengan oksigenasi menghasilkan metabolit <i>muconic</i> tipe asam yang dapat didegradasi melalui siklus <i>Tricarboxylic Acid</i> (TCA)	Prince (1998); lihat juga Parales dan Resnick (Chap. 8)
	PAH - Bakteri: reaksi pemecahan awal cincin PAH melibatkan monooksigenasi atau kombinasi dari mono dan dioksigenasi - Jamur: oksidasi PAH <i>ligninolytic</i> dan <i>non-ligninolytic</i>	Cerniglia (1992, 1997); Paszczynzky dan Crawford (1995); lihat juga Aitken dan Long (Chap. 5)
Anaerob	- konversi alkana, monoaromatik, beberapa campuran PAH dan hidrokarbon dengan Fe (III), Mn (IV) atau pengurangan sulfat atau kondisi denitrifikasi atau menggunakan akseptor elektron penghubung lainnya termasuk CO ₂ - mekanisme aktivasi awal meliputi karboksilasi, metilasi, hidrosilasi, dehidrogenasi, dan reaksi tambahan (khususnya fumarate addition)	Lovely (2000); Widdel dan Rabus (2001); lihat juga Coates (Chap. 4)

Sumber: Singh&Ward, 2004.

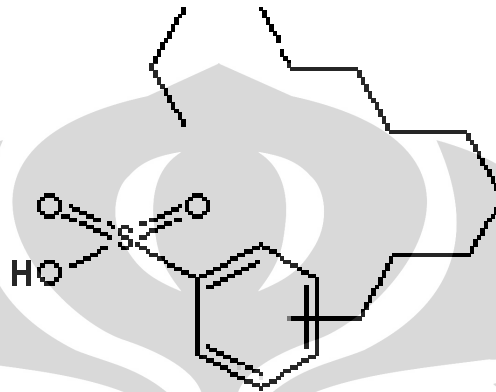
2.4. SURFAKTAN

Zat penting dalam proses bioremediasi adalah surfaktan, yang bersifat *biodegradable* sebagai agen pemecahan awal senyawa kontaminan tersebut dan menginokulasikan mikroorganisme eksogen untuk menambah jumlah populasi dan mengaktifasi mikroorganisme indigen pendegradasi limbah minyak tersebut (Putu Suardana, 2008). Surfaktan juga dapat didefinisikan sebagai bahan kimia aktif yang dapat mempercepat proses emulsifikasi dan pelarutan bahan organik (Keputusan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 128 Tahun 2003 Tentang Tata Cara Persyaratan Teknis Pengolahan Limbah Minyak Bumi dan Tanah Terkontaminasi oleh Minyak Bumi Secara Biologis).

Sifat aktif permukaan yang dimiliki surfaktan di antaranya mampu menurunkan tegangan permukaan, tegangan antar muka, dan meningkatkan kestabilan sistem emulsi. Sifat surfaktan juga bergantung pada suatu molekul yang memiliki sifat lipofilik dan hidrofilik. Pada batas antar fase (misalnya minyak, lemak, dan air, atau udara dan air), molekul surfaktan bergabung menyebabkan turunnya tegangan permukaan. Keberadaan busa menyebabkan terbentuknya perluasan daerah antar fase dan akumulasi surfaktan dalam air busa dan akibatnya terjadi penurunan kepekatan surfaktan dalam massa air (Permana, 2008). Surfaktan menurunkan tegangan permukaan air dengan cara mematahkan ikatan-ikatan hidrogen pada permukaan air. Hal ini dilakukan dengan cara menaruh kepala-kepala hidrofilik pada permukaan air sedangkan ekor-ekor hidrofobiknya terentang menjauhi permukaan air (Fessendern, 1999).

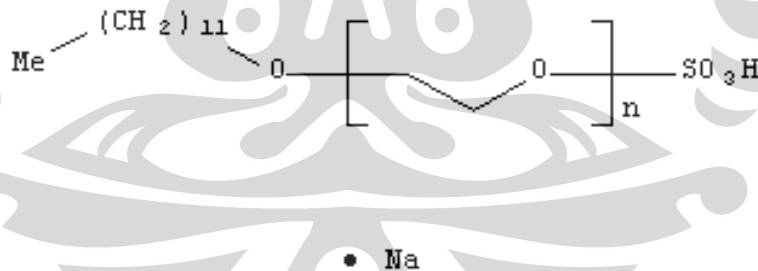
Surfaktan yang umumnya digunakan diklasifikasikan atas dua jenis berdasarkan bahan yang disintesis, yaitu surfaktan petrokimia dan surfaktan oleokimia. Surfaktan petrokimia adalah surfaktan yang disintesis dari minyak bumi sedangkan surfaktan oleokimia adalah surfaktan yang disintesis dari minyak nabati (Arbianti et al., 2008). Surfaktan *Linear Alkylbenzene Sulfonate* (LAS) dibuat dari sulfonat minyak bumi hasil proses *sulfonatisasi* dan merupakan surfaktan jenis anionik dan karena itu tergolong surfaktan petrokimia (Suardana et al., 2002). Sedangkan Surfaktan Sodium Laureth Sulfate (SLS) merupakan salah satu jenis surfaktan oleokimia yang memiliki muatan negatif pada gugus antarmuka hidrofobiknya yang biasanya disintesis dari minyak nabati seperti

minyak kelapa. SLS memiliki rumus kimia $C_{12}H_{25}NaO_4S$ atau $CH_3-(CH_2)_{11}-O-SO_3^-Na^+$. Dalam larutan, kation Na^+ akan terdisosiasi dari bagian anionik (*lauryl* atau *dodecyl sulfate*) dan senyawa anionik ini merupakan bagian yang aktif (Permana, 2008). Struktur LABSA dan SLS dapat dilihat pada gambar di bawah ini.



Sumber: www.chemicaland21.com
Gambar 2.9. Struktur Kimia LABSA.

Registry Number: 9004-82-4
Formula: $(C_2H_4O)_n C_{12}H_{25}O_4S \cdot Na$



Sumber: www.commonchemistry.org

Gambar 2.10. Struktur Kimia SLS.

BAB 3

GAMBARAN UMUM PT CHEVRON PACIFIC INDONESIA

3.1 SEJARAH PT. CHEVRON PACIFIC INDONESIA

PT. Chevron Pacific Indonesia (PT.CPI) merupakan salah satu kontraktor bagi hasil (*Production Sharing Contract*) yang merupakan salah satu unit usaha perusahaan minyak Amerika yaitu Chevron Corporation. PT. CPI adalah salah satu unit bisnis di bawah wilayah *IndoAsia Business Unit*.

Sejarah PT.CPI berawal pada Maret 1924, dimana pada waktu itu dilakukan upaya pencarian minyak oleh tim geologi Chevron Corporation (saat itu bernama *Standard Oil Company of California-SOCAL*) yang dipimpin oleh Emerson M. Butterworth di daerah Sumatera, Jawa Timur, Kalimantan Timur, dan wilayah Papua. Pada tahun 1930, pemerintahan Hindia Belanda menyetujui permintaan SOCAL untuk memperoleh hak eksplorasi dengan cara menunjuk SOCAL sebagai *minority partner* dari suatu perusahaan yang didirikan oleh pemerintahan Hindia Belanda pada Bulan Juni 1930 dengan nama *N.V. Nederlandsche Pacific Petroleum Maatschappij* (NPPM) untuk melakukan eksplorasi di Papua.

Pada tahun 1935, NPPM mendapat tawaran daerah seluas 600.000 hektar di Sumatera bagian tengah yang belum layak dieksplorasi dan dianggap kurang memberikan harapan. Walaupun bukan daerah yang dikehendaki SOCAL namun tawaran tersebut diterima juga. Pada tahun 1936, Chevron dan TEXACO Inc. mendirikan kelompok perusahaan minyak bersama yang dinamakan *California Texas Petroleum Corporation* (CALTEX). Pemberian kontrak Caltex di Propinsi Riau dimulai dengan diterimanya tawaran Pemerintahan Hindia Belanda tersebut.

Setelah eksplorasi geofisika (Juni 1937), maka dilakukan pengeboran perdana pada area Kubu-1 (1938-April 1939) dan memperoleh indikasi gas di Rantauabais. Daerah-daerah migas yang ditemukan adalah :

1. Sebang (Agustus 1936) sebagai sumur perdana
2. Rantauabais (November 1940)
3. Duri (1941)

Maka ditandatangani kontrak 5A untuk daerah Rokan I pada tanggal 2 April 1941 dengan pemasangan mercubor pertama di Minas-1, di mana pada waktu itu Indonesia diperintah oleh pendudukan Jepang.

Namun pada masa itu terjadi Perang Dunia II yang menyebabkan terhentinya seluruh kegiatan eksplorasi minyak dan meninggalkan peralatan pengeboran seharga US\$ 1 juta. Pada tahun 1944, dengan memanfaatkan peralatan yang ditinggalkan sebelumnya, tentara Jepang menyelesaikan pengeboran eksplorasi Minas-1 pada lokasi yang sebelumnya dipilih dan dipersiapkan oleh Caltex. Ini merupakan satu-satunya sumur *wildcat* di Indonesia selama Perang Dunia II dengan kedalaman minyak 2623 ft (787,5 m).

Setelah Perang Dunia II pada tahun 1957 Presiden Soekarno mengeluarkan perintah untuk menasionalisasikan perusahaan penghasil minyak di Indonesia yang dimiliki oleh Belanda walaupun perintah Presiden Soekarno itu hanya terbatas pada perusahaan penghasil minyak Belanda, namun secara tidak langsung keputusan itu mengancam kedudukan Caltex sebagai salah satu perusahaan penghasil minyak asing terbesar di Indonesia. Pada tahun 1950-an Caltex telah menginvestasikan modalnya lebih dari US\$50 juta di Indonesia. Selain itu ditemukan ladang minyak di Minas yang terbukti memiliki potensi sebagai penghasil minyak terbesar di dunia. Menjelang tahun 1958, produksi minyak Caltex telah mencapai 200.000 barel/hari.

Kegiatan Caltex dilanjutkan dengan pengembangan lapangan Minas. Pada tanggal 20 April 1952, Menteri Perekonomian Sumanang, SH meresmikan selesainya proyek pengembangan lapangan Minas yang ditandai dengan pengapalan pertama Minas *Crude Oil* dari Perawang menuju Pakning di Selat Malaka untuk selanjutnya diekspor ke pasar dunia.

Pada tahun 1957, dimulai proyek perluasan I meliputi pengembangan lapangan Duri, pembangunan jalan raya dan pemasangan pipa saluran minyak dari Minas melintasi rawa ke Dumai. Proyek ini juga mencakup pengembangan stasiun-stasiun pengumpul dan stasiun pompa pusat di Duri, serta kompleks perumahan dan perbengkelan di Duri maupun di Dumai dan diresmikan pada tanggal 15 Juni 1958 oleh Menteri Perindustrian Ir. F.J. Inkiriwang. Sejak saat itu produksi Caltex diekspor melalui Dumai. Dalam rangka proyek perluasan I

diselesaikan juga jembatan ponton yang melintasi sungai Siak dan menghubungkan Pekanbaru dengan Rumbai. Dengan adanya jembatan Siak ini terwujudlah jalan lintas pulau yang pertama di Sumatera, merentang sepanjang 500 km dari Padang ke Dumai.

Upaya menasionalisasikan perusahaan minyak asing di Indonesia diatur dalam Undang-Undang No. 44 tahun 1960. Berdasarkan undang-undang tersebut, ditetapkan bahwa semua kegiatan penambangan minyak dan gas bumi di Indonesia hanya dilakukan oleh perusahaan minyak negara (PERTAMINA). Pada tahun 1963, Caltex berubah nama menjadi PT.Caltex Pacific Indonesia (PT.CPI) yang merupakan badan hukum di Indonesia dengan kepemilikan saham masing-masing 50% SOCAL dan 50% TEXACO.

Pada tahun 1970, dimulai proyek perluasan II yaitu pengembangan lapangan Bangko dan Kota Batam. Dengan berlakunya Undang-Undang No. 44 tahun 1960 maka wilayah NPPM yang disebut Rokan I Block dan Rokan II Block seluas 9.030 km² dikembalikan kepada Pemerintah Republik Indonesia dan kegiatan NPPM kemudian dilanjutkan oleh PT. CPI hingga sekarang.

Perjanjian karya PT. CPI dengan Perusahaan Negara Pertamina pada bulan September 1963 kemudian memperoleh ratifikasi DPR RI, meliputi Rokan I dan III. Pada tahun 1968 ditambahkan empat area baru (Sebanga, Minas Tenggara, Libo Tenggara, dan Libo Barat Laut) sehingga luas kerja PT. CPI seluruhnya menjadi 9.898 km².

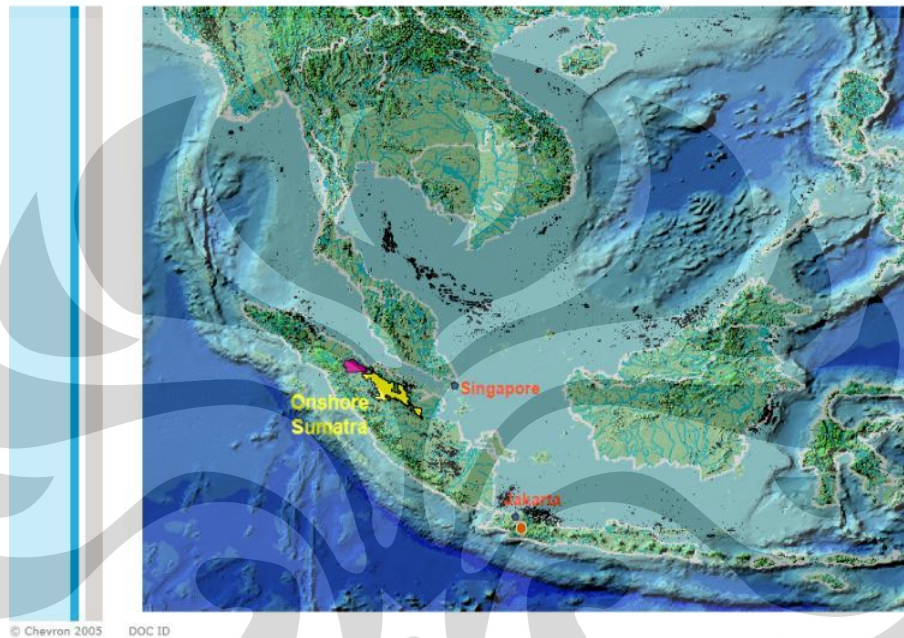
Sejak 1983 PT. CPI berstatus sebagai Kontraktor Bagi Hasil (KPS)/*Production Sharing Contract* (PSC) yang beberapa wilayah konsesinya akan berakhir di tahun 2021. Saat ini kegiatan PT. CPI di Propinsi Riau meliputi kawasan sekitar 31.700km².

Pada bulan Oktober 2005, ketika terjadi penggabungan (*merger*) antara Chevron dengan Unocal, PT. Caltex Pacific Indonesia yang telah resmi berganti nama menjadi PT. Chevron Pacific Indonesia yang beroperasi dibawah Indoasia Business Unit (IBU) hingga sekarang ini.

Berdasarkan luas operasi dan kondisi geografis yang ada serta pertimbangan efisiensi dalam pengoperasian maka PT. CPI membagi lokasi daerah operasi menjadi:

- 1) *Heavy Oil*
- 2) *Light Oil*. *Light Oil* dibagi 2 yaitu :
 - a. *Sumatra Light South (SLS)*
 - b. *Sumatra Light North (SLN)*

OPERATION AREA
PT. Chevron Pacific Indonesia



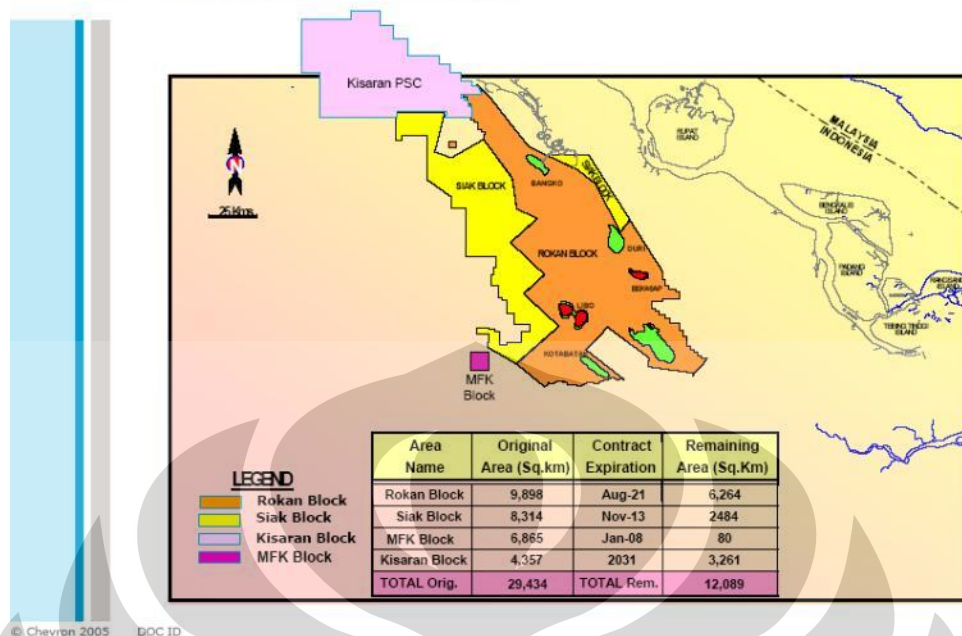
© Chevron 2005 DOC ID

Sumber: PT Chevron Pacific Indonesia.

Gambar 3.1 Area Operasi PT CPI

CENTRAL SUMATRA AREA

PT. Chevron Pacific Indonesia



© Chevron 2005 DOC ID

Sumber: PT Chevron Pacific Indonesia.

Gambar 3.2 Central Sumatra Area, luas, dan dan kontrak dengan Pemerintah RI

3.2 KEGIATAN OPERASI

a. Kegiatan Eksplorasi

Setelah hak eksplorasi diperoleh NPPM pada tahun 1953, maka dilaksanakan kegiatan seismik secara intensif di Riau, dimulai dengan daerah-daerah sepanjang aliran sungai Rokan. Berdasarkan penyelidikan geologik pada tahun 1936 dan 1937, semakin diyakini bahwa cadangan minyak yang potensial terdapat di wilayah yang lebih ke selatan sehingga atas permintaan Caltex, daerah kerjanya diubah sehingga berbentuk seperti sekarang yaitu bentuk seekor kangguru menghadap barat.

Pekerjaan eksplorasi yang pertama mencakup penelitian geologik beserta pengeboran sumur, dan penelitian seismik. Penelitian seismik yang dilakukan tahun 1973-1941 dengan cara pengeboran pada lokasi-lokasi yang berpencar-pencar dengan kedalaman seluruhnya 26.208 ft (7.862,4 m).

Pada tahun 1938 dimulai pengeboran eksplorasi di Kubu, namun tidak terdapat indikasi adanya minyak. Tahun 1938-1944 sembilan sumur eksplorasi berhasil diselesaikan dengan temuan di tiga tempat yakni gas di Sebang, serta

minyak di Duri dan Minas. Temuan gas di Sebangka merupakan tonggak sejarah terpenting bagi eksplorasi perminyakan di bagian tengah Pulau Sumatera, sehingga meningkatkan kegiatan eksplorasi di wilayah yang baru ini.

Setelah perang Dunia II, PT. CPI melanjutkan program eksplorasinya di samping mengembangkan temuannya di Minas. Enam sumur pengembangan berhasil diselesaikan pada waktu itu. Penelitian geologik dan pemetaan-pemetaan dimulai di seluruh daerah kerja pada tahun 1951, disusul dengan pengeboran eksplorasi dan penelitian geofisika pada tahun 1955.

Pada tahun 1968 PT. CPI memanfaatkan helikopter untuk mendukung kegiatan pengeboran seismik dan eksplorasi yang berhasil mengurangi secara drastis hambatan yang dihadapi dalam penyediaan suplai angkutan tenaga kerja untuk penelitian geofisik.

Sumur-sumur yang dibor sejak tahun 1968 menghasilkan banyak temuan baru. Sampai tahun 1990 pengeboran eksplorasi telah menghasilkan 119 temuan (minyak atau gas). Temuan utama yang terjadi sejak tahun 1989 adalah lapangan Rintis dan Jingga di daerah KPS *Mountain Front*-Kuantan yang menjadi daerah-daerah produksi baru sekaligus meningkatkan kegiatan eksplorasi di daerah sekitarnya.

Hingga kini, PT. CPI telah memiliki lebih dari 70.000 km² data seismik, 56.000 km² diantaranya dari daerah Riau daratan. Kegiatan operasi pencarian ladang minyak baru sudah tidak lagi gencar dilakukan. Kegiatan yang terus dilakukan adalah meningkatkan produksi minyak dari sumur-sumur produksi yang telah ada (*enhanced oil recovery*).

b. Kegiatan Produksi

Setelah 17 tahun berproduksi, pada tanggal 4 Mei 1969, lapangan Minas mencapai jumlah produksi akumulatif satu miliar barel yang pertama, dan menjadi lapangan raksasa pertama di Asia di sebelah timur Iran dan ke-22 di dunia. Hingga akhir tahun 1990, produksi akumulatif lapangan Minas telah melebihi tiga miliar barel. Minas *crude oil* digemari oleh negara-negara industri karena kadar belerangnya sangat rendah.

Selama tahun 1951-1956, meskipun pengeboran eksplorasi menghasilkan 7 temuan namun yang berproduksi hanya lapangan Minas dan Duri karena iklim politik RI pada saat itu tidak mendukung penanaman modal. Ada beberapa cara yang dilakukan untuk meningkatkan produksi minyak yang cenderung terus menurun, diantaranya yang dilakukan adalah :

1. Menginjeksi air yang dilakukan di distrik Bekasap
2. Menginjeksi air panas yang dilakukan di distrik
3. Menginjeksi uap air yang dilakukan di distrik Duri.

Teknologi injeksi uap (*steam flooding*) mulai diterapkan pada tahun 1981 di Lapangan Duri sebagai usaha peningkatan produksi minyak bumi yang mempunyai viskositas yang tinggi. Kegiatan proyek yang dikenal dengan nama Duri *Steam Flood* (DSF) ini terus berlangsung dan merupakan proyek injeksi uap terbesar di dunia. Kini di area III dan IV tengah berlangsung sistem produksi penginjeksian dengan pola tujuh titik (*seven spot pattern*) dimana satu sumur injeksi dikelilingi oleh enam sumur produksi yang mana jika telah selesai akan meliputi areal seluas 6.600 Ha. Daerah ini akan dikembangkan secara bertahap menjadi belasan area dengan luas masing-masing 100 sampai 600 Ha.

Sampai tahun 1990 PT. CPI telah mengebor 3.660 sumur, 3.094 sumur diantaranya dibor sejak tahun 1966. PT. CPI saat itu masih menggunakan menara bor yang dapat diangkat dengan helikopter namun pada perkembangannya dimana jalan darat sudah banyak dibuat, maka menara bor model angkut darat dipakai untuk pengeboran-engeboran eksplorasi dan pengembangan. Setiap tahun dapat diselesaikan kira-kira 215 hingga 525 sumur eksplorasi dan pengembangan. Hingga akhir tahun 1990, jumlah produksi PT. CPI sejak tahun 1952 telah mencapai lebih dari tujuh miliar barel, berasal dari 3.237 sumur yang tersebar di 96 lapangan.

Program penyuntikan air (*water flooding*) di Lapangan Minas dimulai tahun 1970. Air yang tersedot waktu pemompaan minyak disuntikkan kembali ke dalam tanah sebanyak tiga juta barel sehari. Proses injeksi air lainnya dilaksanakan di lapangan minyak Kota Batak sejak tahun 1974 dengan penyuntikan rata-rata 32.000 barel sehari.

Sementara itu, terus dikembangkan *Enhanced Oil Recovery* (EOR) yang lain untuk memungkinkan pengambilan cadangan minyak yang tidak bisa diambil dengan metode primer serta memperbaiki faktor perolehan selain juga untuk menahan merosotnya laju produksi lapangan-lapangan yang mulai menua.

Menyusul keberhasilan proyek perintis di 8 Lapangan Duri, pada tahun 1981 dimulai penerapan penyuntikan uap panas di seluruh lapangan Duri. Penyuntikan uap di area 1 kira-kira seluas 1.157 hektar sejak April 1985, di area 2 seluas 247 hektar sejak 1986, di area 3 seluas 1.457 hektar pada tahun 1987 dan pembangunan sarana produksi di area 4 degan seluas 1.140 hektar. Pada tanggal 3 Maret 1990 diresmikan oleh Presiden Soeharto proyek Injeksi Uap (*Steam Injection*) Duri yang merupakan proyek injeksi uap terbesar di dunia.

3.3 SEJARAH BIOREMEDIASI DI PT CHEVRON PACIFIC INDONESIA, MINAS

Kegiatan bioremediasi di Minas sudah dilakukan sejak tahun 1994, dengan dimulai oleh studi laboratorium biodegradabilitas lumpur minyak yang akan dibioremediasi. Dan hasil studi yang dilakukan saat itu, diketahui bahwa minyak Minas cukup *biodegradable*. Hal ini didukung oleh data bahwa tipe minyak minas adalah *light oil* dengan API number 32.2. Hasil studi awal ini kemudian didukung oleh studi laboratorium yang dilakukan oleh Lemigas tahun 1998 yang membandingkan tingkat biodegradabilitas minyak Minas dan Minyak Duri.

Dengan dukungan dan perusahaan induk PT CPI di Amerika, kegiatan bioremediasi di Minas dimulai dengan membuat 3 lokasi Bioremediation Treatment Unit (BTU) yaitu di area 5E-99 (1.5 Ha), area GS-6 (1.7 Ha), dan area 4C-27 (1.3 Ha). Semuanya berada di remote area dalam wilayah unit operasi Minas. Lokasi sangat jauh dan daerah hunian bahkan dan kompleks hunian Caltex sendiri. Sampai 2001 sudah total 34.800 m³ campuran tanah dan minyak yang dibioremediasi. Sampai saat itu, kriteria akhir yang diambil masih berdasarkan kriteria lokal yang diambil setelah Chevron-CRTC pada tahun 1996 melakukan *Risk Base Screening Level* (studi mengenai level konsentrasi yang berpotensi membahayakan kesehatan manusia). Kriteria yang diambil dapat dilihat pada Tabel 4.1.

Tabel 3.1 *End-point Criteria* (1996)

Parameter	Satuan	Konsentrasi
TPH	Ppm	5.000
Benzene	Ppm	1,4
Touene	Ppm	880
Ethylbenzene	Ppm	230
Xyiene	Ppr	320
Pb	Ppm	1.000
As	Ppm	24
Ba	Ppm	100.000
Cd	Ppm	26
Cr	Ppm	450
Hg	Ppm	510
Se	Ppm	8.500
Zn	Ppm	1.400
Electrical conductivity	pmhos/cm	4

Sumber: PT Chevron Pacific Indonesia.

Pada tahun 2003, KLH mengeluarkan Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup nomor 128 tahun 2003 mengenai tata cara dan persyaratan teknis pengolahan limbah minyak bumi dan tanah terkontaminasi oleh minyak bumi secara biologis. Dan sejak saat itu kriteria akhir pengolahan secara bioremediasi di PT. CPI mengacu pada KepMenLH ini. Mulai tahun 2004 fasilitas pengolahan bioremediasi di PT. CPI menjadi *Soil Bioremediation Facilities* (SBF) dengan jumlah fasilitas sebanyak 5 SBF di kota Minas, yaitu SBF 4C-27, SBF 5E-99, SBF 8D-72, SBF 8D-58, dan SBF GS VI.

Dari pengalaman kegiatan selama 10 tahun lebih ini PT. CPI telah memperkirakan bahwa kegiatan operasi bioremediasi ini memerlukan biaya sekitar USD 4.9 per m³ yang dibioremediasi. Sedangkan untuk biaya konstruksi sel bioremediasi di perkirakan sebesar USD 18.500 per hektar. Teknologi bioremediasi ini ditinjau sebagai teknologi yang cukup ekonomis dengan proses yang lebih efisien dibandingkan dengan teknologi pengolahan limbah lainnya.

Bioremediasi yang dilakukan di PT. Chevron Paacific Indonesia, Minas ini adalah bioremediasi *ex-situ* yaitu dengan mengangkat kontaminan keluar dan daerah sumber. Sedangkan teknik operasional bioremediasinya mengikuti tipe *landfarming* yaitu pemaparan campuran lumpur dengan nutrient dalam hal ini

pupuk jenis urea dan TSP dengan ketebalan pemaparan maksimum 30 cm. Tiling atau pengadukan dilakukan secara reguler menggunakan traktor dengan cakram yang berputar dibelakangnya sehingga lumpur dapat diaduk secara merata. Tidak ada tambahan mikroorganisme ke dalam lumpur. Dengan demikian juga dapat disebut sebagai tipe bioremediasi intrinsik.

3.4 Fasilitas Bioremediasi di PT. Chevron Pacific Indonesia, Minas

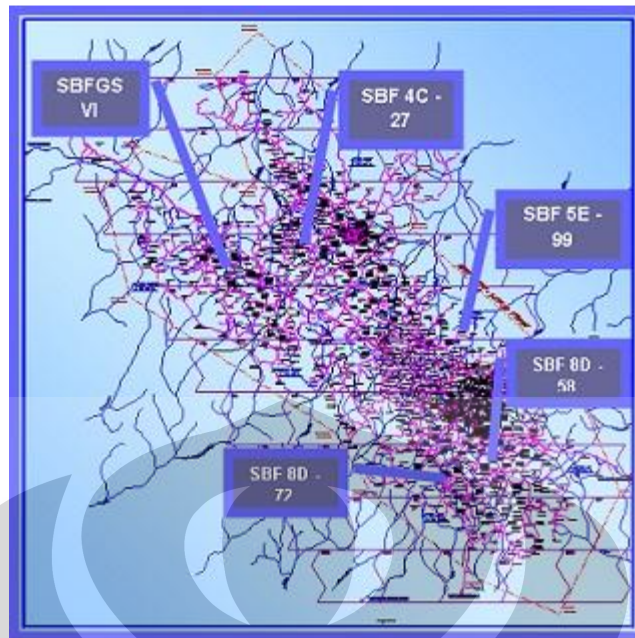
Fasilitas bioremediasi di PT. Chevron Pacific Indonesia bernama *Soil Bioremediation Facilities* (SBF). Sampai pada tahun 2008 ini, PT. CPI di Minas memiliki 5 buah SBF di 5 lokasi yang berbeda.

Tabel 3.2. Koordinat lokasi dan luas setiap SBF

SBF	koordinat lokasi	Luas
GS – VI	90200m LU, 761600m BT	1.5 Ha
4C – 27	90800m LU, 765600m BT	1 Ha
5E – 99	86600m LU, 773600m BT	1.8 Ha
8D – 58	80200m LU, 775400m BT	2.1 Ha
8D – 72	79200m LU, 773300m BT	1.2 Ha

Sumber: PT Chevron Pacific Indonesia.

Fasilitas bioremediasi ini terdiri dari 14 pit dengan dimensi masing-masing pit adalah 90 x 50 x 0,3 m per pit dan kapasitas pengolahan setiap pit adalah 1500 m³.



Sumber: PT Chevron Pacific Indonesia.

Gambar 3.3. Lokasi SBF di PT CPI Minas.

Dalam pengoperasiannya SBF Minas ini telah mengantongi perizinan dari pemerintah untuk melaksanakan kegiatan bioremediasi. Proses bioremediasi pada SBF ini dilakukan dengan cara *ex-situ* dengan metode *landfarming*, dimana tanah terkontaminasi minyak dari sumber lokasi pengeboran diambil dan diangkut ke lokasi pengolahan (SBF) yang terdekat. Untuk memenuhi ketentuan lokasi yang disyaratkan oleh KepMenLH No.128/2003 maka fasilitas SBF ini didesain dengan ketentuan sebagai berikut:

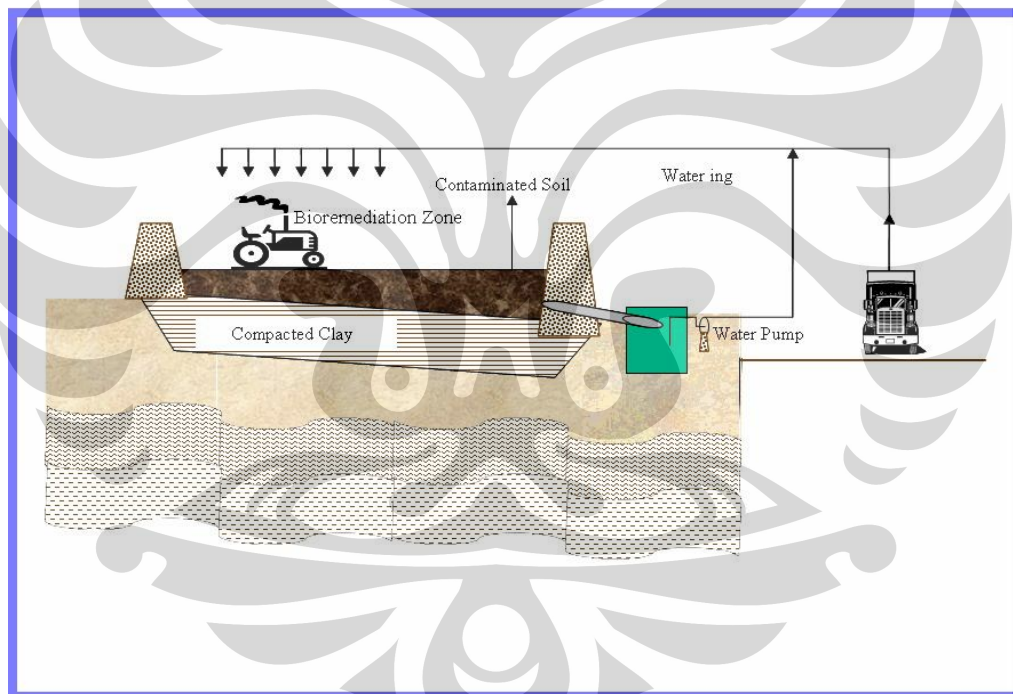
- Pada Daerah Bebas Banjir
- Bukan DAS/Resapan
- Bukan Hutan Lindung
- 300 m dari Pemukiman
- Kedalaman muka air tanah > 50 m (untuk Kota Batak < 4m)

Desain area pengolahan dapat digambarkan sebagai berikut:

- Area pengolahan merupakan suatu hamparan yang dibuat khusus dengan slope kemiringan 3% sehingga memungkinkan terjadinya pengumpulan leachate atau runoff dan area pengolahan.

- Disediakan sumur pengumpul (*collection pit*) untuk menampung *leachate* dan *runoff water* ini.
- Untuk mengantisipasi curah hujan tinggi, disediakan sistem drainase di sekeliling area pengolahan.
- Untuk melindungi air tanah, dasar area pengolahan dilapisi lapisan tanah liat yang khusus didatangkan dan dikompaksi sehingga berfungsi sebagai lapisan kedap air.
- Untuk menjaga kelembaban tanah diolah, maka dilakukan penyiraman secara periodik menggunakan truk *vaccum* dengan penyemprot air atau pompa portabel yang dihubungkan dengan pipa plastik sebagai penyemprot air.

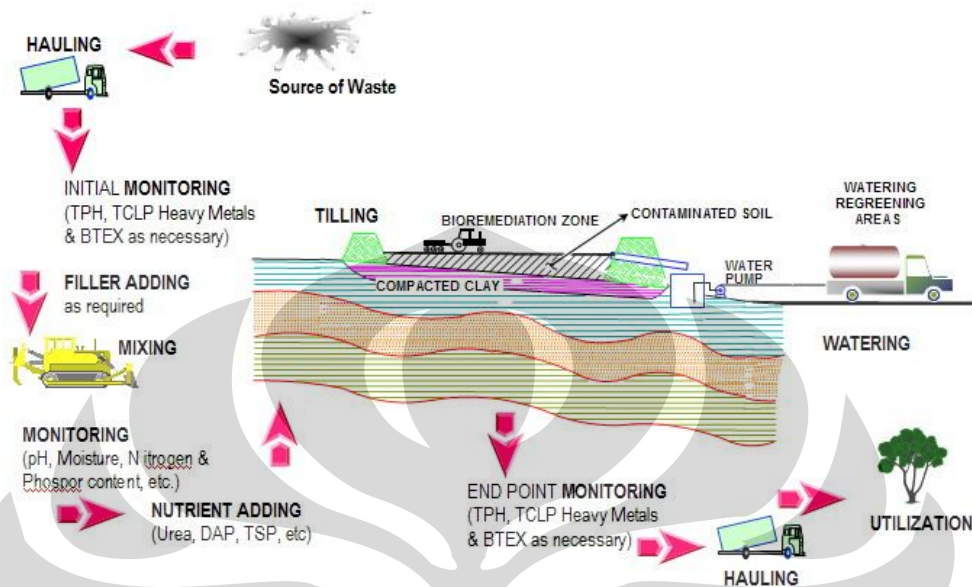
Skema gambar desain sistem pengolahan dapat dilihat pada gambar berikut:



Sumber: PT Chevron Pacific Indonesia.

Gambar 3.4. Desain Sistem Bioremediasi

SBF Operation Process Flow



Sumber: Novianti, 2008.

Gambar 2.4. Diagram Proses Operasi SBF.

Proses kerja bioremediasi di PT. CPI ini terdiri dari beberapa tahap di antaranya (Novianti, 2008):

1. Survey

Survey dari area terkontaminasi, area sekitar, dan lahan lain perlu dilakukan untuk melaksanakan kerja berdasarkan rencana, diantaranya adalah survei kontur topografi area terkontaminasi dan sekitarnya, kedalaman dan ketebalan tanah terkontaminasi, dan fasilitas yang ada di area tersebut.

2. Pengangkutan (*Hauling-in*)

Tanah yang terkontaminasi oleh minyak mentah diambil, lalu diangkat oleh ekskavator dan dibawa dengan dump truck ke tempat pengolahan. Dipastikan bahwa tidak ada tanah yang tercecer saat pengangkutan dan perjalanan. Untuk efisiensi operasional, dapat dilakukan penimbunan tanah terkontaminasi pada area *stockpile* yang telah didesain khusus pada SBF 4C-27, 8D-72, GS6, dan 8D-58 sebagai cadangan/persediaan.

3. Pencampuran (*mixing*)

Setelah limbah diangkut ke lokasi SBF, tanah terkontaminasi diturunkan kedalam lokasi pengolahan untuk proses pencampuran. Sebelumnya diratakan terlebih dahulu dengan ketebalan yang sama. Harus ada jarak bersih antara tanah dengan tanggul SBF sekitar 40-50 cm. Adanya jarak ini memiliki 2 tujuan, yaitu untuk menghindari rusaknya tanggul akibat alat berat dan sebagai drainase untuk air.

Proses pencampuran diperlukan agar limbah tersebut homogen dan mempunyai tekstur tanah yang lebih baik. Dalam proses ini diperlukan *dozer* dengan *romeplow* atau traktor dengan *rotavator*. Proses pencampuran ini juga diperlukan untuk mencampur bahan pengisi atau bahan lain yang diperlukan. Ketebalan bahan setelah pencampuran sekitar 20 – 25 cm.

4. Penambahan nutrisi

Penambahan nutrisi dan bahan lain adalah untuk mendapatkan pH optimum dan kondisi nutrisi untuk pertumbuhan bakteri. Dolomit ditambahkan untuk meningkatkan pH tanah yang rendah sampai pH normal kembali, sedangkan Urea dan TSP digunakan untuk menambah kekurangan Nitrogen dan Fosfor.

Tambahan nutrisi seperti nitrogen dan phosphor sangat diperlukan. Perbandingan Karbon : Nitrogen : Phosphor berkisar 100 : 5 : 1. Penelitian mengenai rasio C : N : P optimum bagi pelaksanaan bioremediasi di lapangan Minas telah banyak dilakukan. Dan hasil yang diperoleh dari penelitian yang dilakukan adalah bahwa untuk pertumbuhan optimum bakteri *indigenus* khusus di Minas ini membutuhkan penambahan nutrisi dengan rasio C : N : P sebesar 100 : 5 : 1. Proses, jumlah dan frekuensi penambahan diukur berdasarkan hasil pemantauan, dan dilakukan secara bertahap untuk menjaga rasio C : N : P.

5. Penyiraman

Penyiraman pada areal pengolahan bioremediasi diperlukan untuk menjaga kelembaban. Penampung air mengumpulkan air dari tempat pengolahan. Air ini akan dipakai sebagai sumber air penyiraman. Bila tidak ada sistem penyemprotan air yang permanen untuk proses penyiraman, atau juga bisa menggunakan truk air untuk menyiram. Selama musim hujan, akan ada banyak air yang terkumpul pada penampung air. Air ini dapat digunakan untuk penyiraman daerah penghijauan.

6. Pembalikan tanah (pembajakan)

Untuk mendapatkan laju biodegradasi maksimum, tanah harus dijaga tetap pada kondisi teraerasi. Hal ini didapatkan melalui pembajakan tanah secara periodik dan teratur. Maka, proses pembalikan tanah ini merupakan hal yang paling esensial dalam proses bioremediasi. Selain menyediakan oksigen, pembajakan juga dapat mendistribusikan minyak dalam tanah dan memungkinkan terjadinya kontak dengan komponen esensial lainnya seperti misalnya air dan nutrisi.

Pembajakan dilakukan minimum sekali sehari untuk aerasi tanah yang efektif. Traktor yang dilengkapi dengan bajak digunakan untuk proses pembajakan. Cakram bajak harus mencapai kedalaman ± 20 cm. Pembajakan tanah tidak boleh dilakukan bila kadar air dalam tanah terlalu tinggi. Hal ini untuk menghindari terjadinya gumpalan tanah yang mempengaruhi tekstur tanah dan macetnya alat pembajak tanah.

7. *Hauling out*

Tanah yang telah diolah sampai mencapai TPH 1% diangkat dengan Loader lalu diangkut dari pit SBF ke area khusus milik PT. CPI dengan menggunakan *dump truck*.

BAB 4

METODE PENELITIAN

Metode berasal dari kata *method* yang artinya adalah tata cara. Metode penelitian adalah tata cara bagaimana suatu penelitian dilakukan. Berikut ini adalah manfaat dari penentuan metode penelitian:

- Mengetahui arti penting dari penelitian
- Penilaian hasil-hasil penelitian
- Melahirkan sikap pola pikir yang skeptis, kritis dan kreatif
- Agar dapat menyusun/membuat skripsi secara baik dan benar sesuai dengan aturan yang ada .

Sesuai dengan manfaat di atas, ada bab ini akan dipaparkan mengenai metode yang akan digunakan dalam penelitian ini dan berbagai komponen serta variabel yang terlibat.

4.1 KERANGKA BERPIKIR

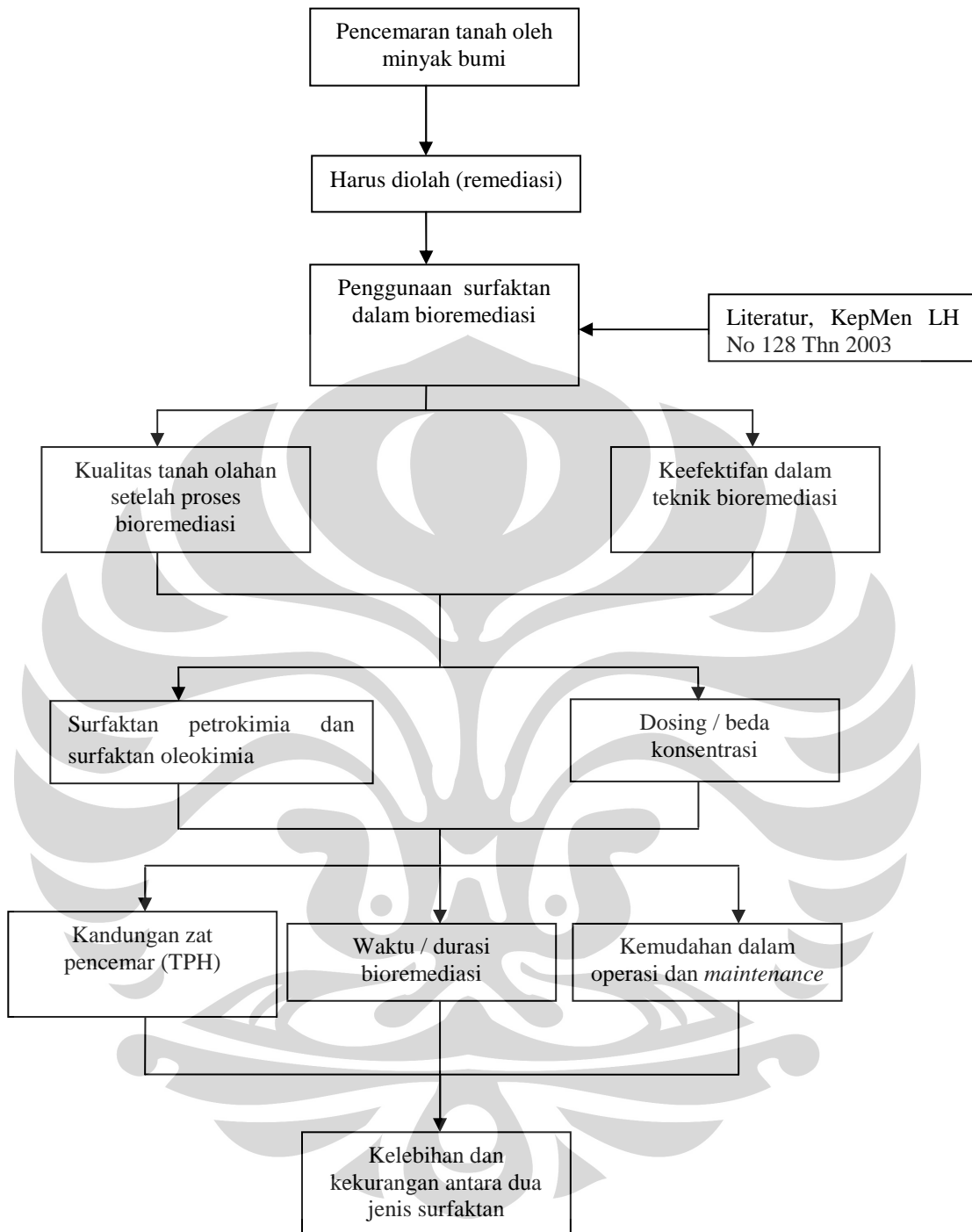
Penelitian ini didasari oleh meningkatnya potensi pencemaran tanah oleh minyak yang disebabkan terus bertambahnya kebutuhan dunia akan minyak bumi dari tahun ke tahun. Limbah minyak, sebagaimana tercantum dalam Keputusan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 128 Tahun 2003 Tentang Tata Cara Persyaratan Teknis Pengolahan Limbah Minyak Bumi dan Tanah Terkontaminasi oleh Minyak Bumi Secara Biologis, termasuk ke dalam golongan limbah B3 dan karenanya lahan yang tercemar limbah minyak harus diberi perlakuan remediasi untuk memulihkan kondisi lahan tersebut. Penelitian ini akan menggunakan teknik remediasi berupa bioremediasi dengan penambahan surfaktan sebelumnya dengan tujuan pemecahan / pendegradasi awal limbah minyak sehingga meringankan beban pada proses bioremediasi.

Untuk mencapai tujuan penelitian yaitu mengetahui kekurangan dan kelebihan dari penggunaan surfaktan petrokimia dibandingkan dengan penggunaan surfaktan oleokimia dilihat dari kualitas *output* dari hasil pengolahan dan mengetahui efektifitas dari teknik bioremediasi, diterapkan berbagai

perlakuan terhadap sampel tanah. Perbedaan perlakuan terletak pada pemberian konsentrasi yang berbeda dari masing – masing surfaktan dalam proses degradasi limbah minyak. Dari perbedaan perlakuan ini nantinya terdapat beberapa parameter yang diukur dan dijadikan sebagai data penelitian. Parameter yang diukur dalam penelitian ini adalah kandungan zat pencemar yang ditunjukkan oleh kandungan TPH dan waktu atau durasi dari proses bioremediasi.

Parameter yang terukur ini akan menghasilkan data penelitian yang kemudian akan dianalisis untuk mendapatkan kekurangan dan kelebihan dari pemakaian kedua jenis surfaktan. Untuk lebih jelasnya, kerangka konsep penelitian digambarkan dalam bagan berikut ini:





Sumber: Hasil Olahan.

Gambar 4.1. Kerangka Konsep.

4.2 PENDEKATAN PENELITIAN

Pendekatan penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah pendekatan kuantitatif. Pendekatan kuantitatif adalah pendekatan yang menggunakan angka-angka dan data statistik, seperti eksperimental, studi korelasi dengan survey dan standarisasi prosedur observasi, simulasi, dan materi pendukung untuk studi kasus.

Metode penelitian yang akan digunakan adalah penelitian eksperimental di laboratorium dengan contoh atau sampel yang diambil langsung dari lapangan yang memiliki tanah tercemar oleh minyak bumi. Beberapa ciri-ciri metode eksperimental adalah sebagai berikut

- Adanya manipulasi sehingga mengubah secara sistematis suatu keadaan tertentu
- Observasi terhadap hasil manipulasi
- Adanya kontrol, yaitu pengendalian terhadap kondisi-kondisi penelitian ketika berlangsungnya manipulasi.

Kontrol adalah kunci dari eksperimental, sebab tanpa kontrol manipulasi dan observasi akan menghasilkan data yang meragukan. Metode eksperimental ditujukan untuk mencari hubungan sebab akibat dengan memanipulasikan satu atau lebih variabel pada satu atau lebih kelompok eksperimental.

4.3 VARIABEL PENELITIAN

Variabel penelitian adalah suatu gejala yang menjadi fokus serta arahan bagi setiap peneliti, dimana gejala tersebut nantinya dapat dilakukan suatu pengamatan secara sistematis. Variabel tersebut merupakan kelengkapan/atribut dari obyek atau sekelompok orang yang memiliki variasi antara satu dengan yang lainnya di dalam kelompok itu. Variabel – variabel yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

- a. Variabel bebas adalah pemberian berbagai konsentrasi surfaktan petrokimia dan surfaktan oleokimia.
- b. Variabel kontrol adalah upaya pengkondisian lingkungan selama proses bioremediasi.

- c. Variabel terikat adalah hasil proses bioremediasi tanah tercemar limbah minyak di Kota Minas, Riau, dari segi kandungan TPH, waktu / durasi, kemudahan dalam operasi dan pemeliharaan, serta faktor ekonomis dan kemudahan dalam mendapatkan bahan.

4.4 WAKTU DAN TEMPAT PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan di *Technical Support Laboratory* PT Chevron Pacific Indonesia, Minas, Riau. Penelitian ini dilakukan selama 2 (dua) bulan.

4.5 PENGUMPULAN DATA

Data yang digunakan dalam penelitian ini berupa data primer dan data sekunder. Dalam rangka pengumpulan kedua jenis data tersebut, maka akan digunakan berbagai macam teknik pengumpulan data mengingat masing – masing teknik pengumpulan data tersebut memiliki kelebihan dan kekurangan pada penerapannya. Dengan demikian, masing-masing teknik diharapkan dapat saling melengkapi data yang diperlukan. Berikut ini adalah teknik pengumpulan data yang digunakan dalam penelitian ini:

1. Studi Literatur

Teknik pengumpulan data dengan cara studi literatur dikenal juga dengan kajian pustaka, di mana data dikumpulkan dari sumber yang berupa dokumen atau sumber tertulis, misalnya buku, jurnal penelitian, media, peraturan tertulis, dan lain sebagainya. Teknik ini digunakan untuk mengumpulkan data sekunder.

2. Pengukuran

Pengukuran dilakukan untuk mendapatkan data primer di mana yang menjadi objek pengukuran adalah parameter-parameter yang telah ditetapkan sebelumnya dalam tujuan penelitian. Pengukuran ini dilakukan terhadap contoh tanah (sampel) di dalam laboratorium.

3. Observasi

Observasi atau pengamatan juga dilakukan terhadap contoh tanah (sampel) di dalam laboratorium yang dilakukan secara visual.

4. Wawancara

Wawancara atau *interview* dilakukan di lokasi penelitian untuk mengumpulkan data primer, diharapkan dengan teknik ini didapatkan data dari para ahli, petugas lapangan, dan orang-orang yang terkait dengan penelitian.

4.6 DESAIN PENELITIAN

Pada tahapan pelaksanaan penelitian dibagi menjadi tiga tahapan yang lebih khusus, yaitu tahapan pengambilan dan persiapan sampel tanah, tahapan bioremediasi, dan tahapan pengukuran.

A. Tahapan pengambilan contoh uji tanah di lokasi penelitian

1. Prinsip

Sampling adalah suatu kegiatan yang bertujuan untuk mengambil contoh uji di lapangan yang akan dipergunakan untuk tujuan identifikasi atau pengujian. Contoh uji (sampel tanah) dikumpulkan dengan metode komposit. Sampel tanah dan limbah padat dikumpulkan dari tempatnya langsung pada lapisan permukaannya dengan kedalaman 10 – 20 cm dari permukaan tanah, menggunakan alat *hole digger*. Selanjutnya sampel tanah dipindahkan dari *hole digger* ke dalam ember yang telah disiapkan. Sebelum dipindahkan ke wadah untuk percobaan, dilakukan pengadukan agar seluruh sampel menjadi homogen.

2. Bahan dan peralatan

- a) *safety shoes*
- b) helm
- c) *safety glasses*
- d) *hole digger*
- e) 4 (empat) buah ember plastik
- f) plastik (untuk menyimpan sisa-sisa tanah yang tidak digunakan)
- g) Spatula/tongkat pengaduk
- h) label nama dan alat tulis

3. Pengambilan dan persiapan sampel

Sampel diambil dan disiapkan dengan tahapan sebagai berikut:

- a) Sampel diambil menggunakan alat *hole digger* di beberapa titik di *treatment cell*, pada penelitian ini sampel diambil di *Soil Bioremediation Facility* (SBF) 8D-58.
- b) Sampel dimasukkan ke ember – ember yang telah disediakan.
- c) Benda – benda asing seperti potongan plastik, daun, atau bahan lain yang bukan contoh uji dibuang dari sampel.
- d) Sampel dihomogenkan dan dimasukkan dalam 9 (sembilan) buah wadah sampel, masing – masing wadah berisi 5 kg sampel.
- e) Wadah sampel diberi label dan keterangan.
- f) Sampel diberi surfaktan dengan konsentrasi 1.75%, 2%, 2.25%, dan 2.5%.



umber: Dokumentasi.

Gambar 4.2. Pengambilan Sampel Tanah.



Sumber: Dokumentasi.

Gambar 4.3. *Hole Digger*.



Sumber: Dokumentasi.
Gambar 4.4. Sampel yang Telah Ditimbang di Wadah.



Sumber: Dokumentasi.
Gambar 4.5. Surfaktan LABSA.



Sumber: Dokumentasi.
Gambar 4.6. Surfaktan SLS.

B. Tahapan bioremediasi

Pada tahapan ini sampel tanah diberi perlakuan bioremediasi seperti yang dilakukan di lapangan oleh PT. CPI, yaitu dengan menggunakan metode *landfarming*.

1. Alat dan bahan

Alat dan bahan yang digunakan selama teknik bioremediasi berlangsung adalah sebagai berikut:

- a) Spatula/tongkat pengaduk
- b) Air
- c) Pupuk urea
- d) Pupuk TSP
- e) Dolomit

2. Prosedur

- a) Dilakukan pengukuran untuk mengetahui data sampel (kelembapan, pH, dan TPH awal)
- b) Pupuk urea dan TSP ditambahkan sesuai dengan perhitungan agar perbandingan C : N : P pada sampel adalah 100 : 5 : 1
- c) Dolomit ditambahkan jika pH sampel bersifat asam
- d) Air ditambahkan untuk menjaga kelembapan sampel tetap berkisar 20%
- e) Setiap penambahan air dan nutrisi dihomogenkan dengan diaduk menggunakan tongkat pengaduk
- f) Pengadukan dilakukan ± 3 (tiga) hari sekali untuk menjaga kadar oksigen pada sampel tercukupi.

C. Tahapan pengukuran

Tahapan pengukuran pada penelitian ini terdiri dari pengukuran kelembapan, pengukuran pH, pengukuran kandungan TPH, pengukuran nitrat, dan pengukuran fosfat. Setiap sebelum dilakukan pengukuran, dilakukan persiapan terhadap sampel dengan ketentuan sebagai berikut:

1. Alat dan bahan
 - a) Gelas arloji 9 buah
 - b) Lumpang dan mortar
 - c) Saringan tanah diameter 1 mm
2. Prosedur persiapan sampel
 - a) Sampel tanah diletakkan di atas gelas arloji
 - b) Sampel dikeringkan di tempat teduh, tidak terkena cahaya matahari secara langsung
 - c) Sampel yang telah kering dihaluskan dengan lumpang dan mortar
 - d) Tanah disaring dengan saringan diameter 1 mm

Pengukuran Kelembapan

1. Alat dan bahan
 - a) Sampel tanah kering
 - b) *Infra Red Moisture Balance Instrument*

- c) Pelat aluminium
- d) Spatula
- e) *Sample pan gripper*

2. Prosedur

- a) *Infrared Moisture Balance* dihidupkan dengan menekan tombol “*ON*”
- b) penutup lampu dibuka dan lembaran aluminium diletakkan di atas piringan sampel
- c) penutup lampu ditutup dan tombol “*TARE*” ditekan untuk menjadikan pembacaan nol
- d) penutup lampu dibuka dan sejumlah sampel yang telah homogen diletakkan di atas lembaran aluminium
- e) penutup lampu dan tombol “*START*” ditekan untuk mengubah display massa (g) menjadi display nilai pengukuran *moisture content* (%) dan lampu infra merah akan menyala
- f) Alat akan berbunyi bila pengukuran telah selesai dan lampu infra merah akan mati.
- g) Kelembapan atau *moisture content* (%) dari sampel dicatat
- h) Tombol “*RESET*” ditekan untuk mengubah display *moisture content* (%) menjadi display massa (g)
- i) Cover lampu dibuka, lembaran aluminium diangkat menggunakan *sample pan gripper* dan sampel yang telah dianalisa dibuang



Sumber: Dokumentasi.

Gambar 4.7. *Infrared Moisture Balance.*

Pengukuran pH

1. Alat dan bahan

- a) Sampel tanah kering
- b) Akuades
- c) pH meter
- d) gelas beaker
- e) spatula

2. Prosedur

- a) Sampel tanah kering ditimbang sebanyak 25 gram dan dimasukkan ke dalam gelas beaker
- b) Sampel ditambahkan dengan akuades sebanyak 25 mL
- c) Sampel tanah dan akuades diaduk dengan spatula hingga homogen
- d) Dilakukan pembacaan pH menggunakan pH meter yang telah dikalibrasi sebelumnya menggunakan larutan buffer



Sumber: Dokumentasi.

Gambar 4.8. pH Meter.

Pengukuran Kandungan TPH

1. Alat dan bahan

- a) timbangan
- b) *InfraCal TOG/TPH Analyzer*
- c) Pipet ukur
- d) kuvet
- e) Spatula
- f) Normal heksana (*n - Hexane*)
- g) *Silica gel*

2. Prosedur

- a) Sampel tanah yang kelembapannya kurang dari 5% ditimbang sebanyak 5 gram dan dimasukkan ke dalam kuvet
- b) 1 gram *silica gel* dimasukkan ke dalam kuvet
- c) 20 mL normal heksana ditambahkan ke dalam kuvet
- d) Kuvet ditutup dan diaduk selama beberapa menit (± 2 menit)
- e) Kuvet didiamkan sampai sampel tanah mengendap sebanyak mungkin
- h) Normal heksana yang telah terpisah dari sampel tanah kemudian dipipet sebanyak 50 μL dan diletakkan di tengah pelat *InfraCal TOG/TPH Analyzer*

- f) Nilai yang terbaca masih dalam satuan absorban (Abs), maka perlu dikonversi dengan menggunakan kurva kalibrasi.



Sumber: Dokumentasi.
Gambar 4.9. *InfraCal TOG/TPH Analyzer.*

Pengukuran Nitrogen

1. Alat dan bahan

- a) Reagen/ekstraktan: larutan 0.01 M CaSO_4
- b) Erlenmeyer
- c) *Shaker*
- d) Kertas saring bebas nitrogen
- e) DR 4000

2. Prosedur

- a) Sampel ditimbang seberat 5 gram dan dimasukkan ke dalam erlenmeyer 125 mL
- b) Reagen sebanyak 50 mL ditambahkan ke dalam erlenmeyer
- c) Sampel diaduk dengan *shaker* selama 15 menit dengan goyangan 200/menit.
- d) Sampel disaring dengan kertas saring bebas nitrogen
- e) Kandungan nitrogen dibaca dengan spektrofotometer DR 4000.

Pengukuran Fosfor

1. Alat dan bahan

- a) Reagen/ekstraktan: larutan Melich 1
- b) Erlenmeyer
- c) *Shaker*
- d) Kertas saring
- e) DR 4000

2. Prosedur

- a) Sampel ditimbang seberat 5 gram dan dimasukkan ke dalam erlenmeyer 125 mL
- b) Reagen sebanyak 25 mL ditambahkan ke dalam erlenmeyer
- c) Sampel diaduk dengan *shaker* selama 5 menit dengan goyangan 180/menit.
- d) Sampel disaring dengan kertas saring
- e) Kandungan fosfor dibaca dengan spektrofotometer DR 4000.



Sumber: Dokumentasi.

Gambar 4.10. DR 4000.



Sumber: Dokumentasi.

Gambar 4.11. Pengukuran Nitrogen.
Fosfor.



Sumber: Dokumentasi.

Gambar 4.12. Pengukuran

4.7 ANALISIS DATA

Tahap analisis data dilakukan setelah pengumpulan data. Data primer dan sekunder diolah dengan salah satu atau beberapa metode pengolahan data untuk dianalisis dan didapatkan kesimpulan dari penelitian ini.

Metode pengolahan data yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode deskriptif analitis dan metode komparatif. Metode deskriptif analitis adalah metode yang mendeskripsikan data dalam bentuk tabulasi atau diagram sehingga didapatkan kecenderungan (*trend*) dari data yang kemudian dianalisa lebih lanjut mengenai faktor – faktor yang menyebabkan kecenderungan tersebut. Metode ini digunakan untuk menggambarkan hubungan dari perbedaan perlakuan yang diterapkan terhadap sampel tanah dengan parameter yang diukur dalam penelitian, misalnya hubungan antara konsentrasi surfaktan dengan *removal rate* zat pencemar (TPH), hubungan antara pengadukan sampel dengan durasi bioremediasi, dan lain sebagainya. Sedangkan metode komparatif digunakan untuk membandingkan pengaruh yang ditimbulkan antara penggunaan surfaktan petrokimia dengan surfaktan oleokimia, misalnya perbandingan hubungan antara konsentrasi surfaktan petrokimia dan konsentrasi surfaktan oleokimia dengan laju penurunan TPH atau perbandingan kualitas akhir sampel tanah dengan baku mutu lingkungan.

BAB 5 HASIL DAN PEMBAHASAN

5.1. KUALITAS SAMPEL TANAH AWAL

Tanah yang dijadikan sampel pengukuran berasal dari *Soil Bioremediation Facility* (SBF) 8D-58 Pit C. Pengambilan sampel dilakukan di beberapa titik dengan menggunakan alat *hole digger*. Dalam penelitian ini diterapkan perlakuan yaitu penambahan surfaktan petrokimia dan surfaktan oleokimia dalam beberapa variasi dosis. Penamaan sampel dan perlakuan yang diberikan terhadap sampel tanah ditunjukkan dalam tabel berikut ini.

Tabel 5.1. Penamaan Sampel dan Jenis Perlakuan.

Nama sampel	Jenis Perlakuan
Sampel 0	Tanpa penambahan surfaktan
Sampel 1	Penambahan surfaktan LAS 1,75%
Sampel 2	Penambahan surfaktan LAS 2%
Sampel 3	Penambahan surfaktan LAS 2,25%
Sampel 4	Penambahan surfaktan LAS 2,5%
Sampel 5	Penambahan surfaktan SLS 1,75%
Sampel 6	Penambahan surfaktan SLS 2%
Sampel 7	Penambahan surfaktan SLS 2,25%
Sampel 8	Penambahan surfaktan SLS 2,5%

Sumber: Dokumentasi.

Pada minggu 1 sebelum diterapkan perlakuan, dilakukan pengukuran terhadap beberapa parameter yaitu pH, kelembapan, kandungan TPH, nitrogen dan fosfor. Berikut ini adalah tabel hasil pengukuran awal kualitas tanah yang digunakan sebagai sampel penelitian.

Tabel 5.2. Data Awal Tanah.

Sampel	Parameter				
	pH	kelembaban (%)	Kandungan TPH (%)	N (mg/Kg)	P (mg/Kg)
0	7,39	17	1,873	1,9	0,887
1	7,67		1,936		
2	7,26		2,161		
3	7,64		1,956		
4	7,81		1,869		
5	7,71		2,047		
6	7,47		2,638		
7	7,41		1,956		
8	7,5		2,185		

Sumber: Hasil Pengukuran, 2010.

5.1.1. pH Tanah

Dolomit adalah bahan mineral yang berasal dari alam yang mengandung unsur hara magnesium dan kalsium berbentuk tepung dengan rumus kimia $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$. Dolomit merupakan salah satu bahan kapur yang digunakan untuk pertanian. Tujuan dilakukannya pengapuran pada tanah adalah untuk menaikkan pH tanah hingga tingkat yang diinginkan dan mengurangi atau meniadakan racun Al.

PH tanah di daerah Minas, Riau umumnya berkisar pada nilai 4 – 5, yang menunjukkan kondisi tanah cenderung bersifat asam. Padahal kemampuan degradasi bakteri pada tanah akan bekerja secara optimum ketika berada pada kisaran pH normal, yaitu 6 – 8, untuk itu maka dilakukan penambahan dolomit sebelum penelitian berlangsung. Setelah dilakukan penambahan dolomit pH tanah naik sehingga berada pada kisaran normal yaitu 7,26 – 7,81. Penambahan dolomit yang dilakukan adalah sebanyak 50 Kg untuk tanah dengan volume 1500 m³.

5.1.2. Kelembaban Tanah (*Moisture Content*)

Kelembaban tanah harus dijaga pada kisaran 20% untuk menjaga kinerja bakteri tetap optimum. Pada pengukuran awal sampel tanah, diperoleh kelembaban tanah rata-rata adalah 17%, sehingga dengan demikian perlu

dilakukan penambahan air untuk menaikkan kelembabannya menjadi 20%. Berikut ini adalah perhitungan mengenai volume air yang ditambahkan:

$$\text{Massa tanah} = 9 \text{ wadah} \times 5 \text{ Kg tanah/wadah} = 45 \text{ Kg tanah}$$

$$\text{Kandungan air} = 17 \% \times 45 \text{ Kg} = 7,65 \text{ Kg air}$$

Air yang perlu ditambahkan adalah:

$$\text{Massa air} = \frac{3\%}{17\%} \times 7,65 \text{ Kg} = 1,35 \text{ Kg}$$

$$\text{Volume air} = \frac{m}{\rho} = \frac{1,35 \text{ Kg}}{1000 \text{ Kg/m}^3} = 0,00135 \text{ m}^3 = 1350 \text{ mL}$$

$$\text{Volume air/wadah} = 1350 \text{ mL} / 9 \text{ wadah} = 150 \text{ mL air/wadah}$$

Berdasarkan perhitungan di atas, maka jumlah air yang harus ditambahkan adalah sebesar 150 mL untuk tiap wadah sampel.

Selain kelembaban sampel tanah selama penelitian, juga dilakukan pengukuran terhadap kelembaban sampel tanah yang digerus untuk pengukuran kandungan TPH. Kelembaban sampel tanah untuk pengukuran kandungan TPH ini harus kurang dari 5%. Jika melebihi maka sampel perlu dijemur lagi sehingga kelembabannya kurang dari 5%. Perhitungan kelembaban ini digunakan untuk mendapatkan nilai kandungan TPH yang disesuaikan dengan kurva kalibrasi.

5.1.3. Total Petroleum Hydrocarbon (TPH)

Kandungan awal TPH sampel tanah berkisar antara 1,869 % - 2,368 %, sehingga tanah harus diolah agar kandungan TPH berada di bawah 1 %. Kandungan TPH masing – masing sampel tanah menjadi dasar dalam perhitungan massa surfaktan yang ditambahkan sebagai perlakuan.

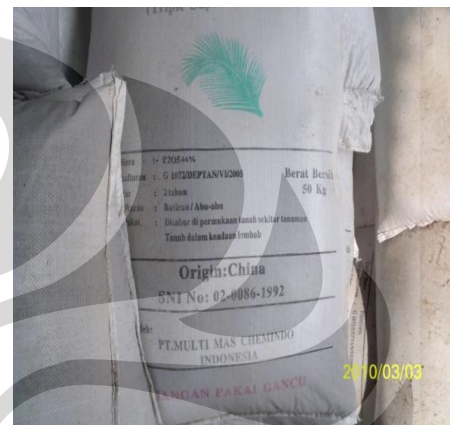
5.1.4. Nutrisi (Nitrogen dan Fosfat)

Nitrogen dan Fosfat adalah nutrisi bagi bakteri yang ada di dalam tanah. Komposisi perbandingan C : N : P yang digunakan dalam penelitian ini adalah 100 : 5 : 1. Penambahan nutrisi ini dilakukan satu kali dalam sebulan dengan asumsi dalam satu bulan nutrisi telah habis dikonsumsi oleh bakteri pendegradasi. Penambahan nutrisi telah dilakukan di SBF 8D-58 pada tanggal 24 Februari 2010, maka penambahan nutrisi pada sampel tanah dilakukan tepat satu

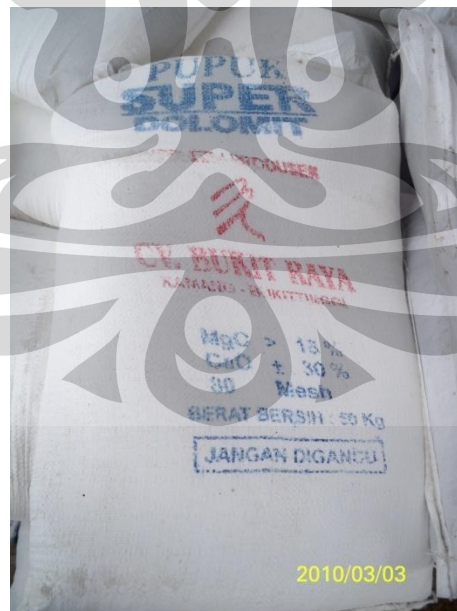
bulan setelahnya yaitu pada saat penelitian berlangsung. Nitrogen diperoleh dengan menambahkan pupuk urea di mana kandungan nitrogen pada pupuk urea adalah sebesar 46%, Sedangkan fosfat diperoleh dengan menambahkan pupuk TSP di mana kandungan fosfat pada pupuk TSP juga sebesar 46%. Dengan adanya informasi tersebut dapat diperhitungkan massa pupuk urea dan TSP yang harus ditambahkan pada tanah.



Sumber: Dokumentasi.
Gambar 5.1. Pupuk Urea.



Sumber: Dokumentasi.
Gambar 5.2. Pupuk TSP.



Sumber: Dokumentasi.
Gambar 5.3. Dolomit.

5.2. KONDISI LINGKUNGAN BIOREMEDIASI

Pada proses bioremediasi, beberapa kondisi lingkungan diupayakan sedemikian rupa agar mikroorganisme pendegradasi limbah minyak bumi dapat tumbuh dan berkembang biak dengan baik. Beberapa kondisi lingkungan yang diupayakan tersebut adalah sebagai berikut:

Tabel 5.3. Penyesuaian Kondisi Lingkungan.

No.	Parameter	Kondisi Optimum (referensi)	Kondisi penelitian
1	Kadar limbah minyak bumi	> 1% hingga 15%	1,869 % - 2,368 %
2	Suhu	15 ⁰ C – 42 ⁰ C	22 ⁰ C
3	Oksigen	Aerasi	Aerasi
4	Kelembaban	10 – 15%	20%
5	pH tanah	6,5 – 8,5	7,26 s/d 8,32
6	Kedalaman tanah	≤ 18 in (45,72 cm)	3,15 in (8 cm)
7	Kombinasi C:N:P	100 s/d 300:10:1	100:5:1

Sumber: Hasil Olahan.

5.3. HASIL PENGUKURAN

Pada penelitian ini dilakukan berbagai macam pengukuran terhadap sampel. Parameter utama dalam penelitian ini adalah kandungan *Total Petroleum Hydrocarbon* (TPH) sebagai bahan pencemar, kelembaban (*moisture content*), dan pH untuk pengontrolan kondisi lingkungan bagi mikroorganisme. Parameter yang juga diukur adalah nitrogen dan fosfor yang terkandung pada tanah sebagai nutrisi bagi mikroorganisme. Pengukuran dilakukan setiap 1 minggu selama 6 minggu, sehingga didapat 6 hasil data pengukuran. Hasil pengukuran parameter berdasarkan penelitian yang dilakukan disajikan pada tabel 5.4 berikut ini.

Tabel 5.4. Hasil Pengukuran TPH Tanah.

	minggu 1	minggu 2	minggu 3	minggu 4	minggu 5	minggu 6
Sampel 0 tanpa penambahan surfaktan	1,87	1,58	1,68	1,28	1,18	1,16
sampel 1 dengan penambahan 1.75% surfaktan LABSA	1,94	1,56	1,43	1,09	0,94	0,91
sampel 2 dengan penambahan 2% surfaktan LABSA	2,16	1,81	1,39	1,07	1,19	1,16
sampel 3 dengan penambahan 2.25% surfaktan LABSA	1,96	1,45	1,43	0,87	0,93	0,81
sampel 4 dengan penambahan 2.5% surfaktan LABSA	1,87	1,43	1,59	1,17	1,00	0,95
sampel 5 dengan penambahan 1.75% surfaktan SLS	2,05	1,68	1,37	1,15	0,94	0,95
sampel 6 dengan penambahan 2% surfaktan SLS	2,64	1,65	1,24	0,97	0,98	0,91
sampel 7 dengan penambahan 2.25% surfaktan SLS	1,96	1,94	1,14	1,06	1,00	1,00
sampel 8 dengan penambahan 2.5% surfaktan SLS	2,19	1,82	1,18	0,84	0,95	0,95

Sumber: Hasil Pengukuran, 2010.

Tabel 5.5. Hasil Pengukuran pH Tanah.

	minggu 1	minggu 2	minggu 3	minggu 4	minggu 5	minggu 6
sampel 0 tanpa penambahan surfaktan	7,39	8,24	8,06	7,96	7,79	7,61
sampel 1 dengan penambahan 1.75% surfaktan LABSA	7,67	8,22	7,95	8,10	7,77	7,67
sampel 2 dengan penambahan 2% surfaktan LABSA	7,26	8,05	7,88	8,03	7,75	7,56
sampel 3 dengan penambahan 2.25% surfaktan LABSA	7,64	8,24	7,98	8,08	7,86	7,67
sampel 4 dengan penambahan 2.5% surfaktan LABSA	7,81	8,23	7,87	8,17	8,00	7,69
sampel 5 dengan penambahan 1.75% surfaktan SLS	7,71	8,21	7,86	7,92	7,85	7,40
sampel 6 dengan penambahan 2% surfaktan SLS	7,47	8,17	7,99	7,92	7,74	7,48
sampel 7 dengan penambahan 2.25% surfaktan SLS	7,41	8,15	8,01	7,90	7,68	7,56
sampel 8 dengan penambahan 2.5% surfaktan SLS	7,50	8,32	8,12	8,03	7,75	7,51

Sumber: Hasil Pengukuran, 2010.

5.4. PENAMBAHAN NUTRISI

Penambahan nutrisi dilakukan dengan menambahkan pupuk urea sebagai sumber nitrogen dan pupuk TSP sebagai sumber fosfor. Penambahan pupuk ini dilakukan pada tanggal 23 Maret 2010. Rasio C:N:P yang digunakan adalah 100:5:1 di mana kandungan nitrogen pada pupuk urea adalah 46% dan kandungan fosfor pada TSP adalah 46%. Kandungan karbon pada minyak diasumsikan sekitar 85%, sehingga penentuan massa pupuk yang ditambahkan dapat dilihat pada perhitungan berikut.

Sampel 0

TPH terakhir sebelum penambahan pupuk	= 1,578%
Kandungan minyak	= $\frac{1,578}{100} \times 5000 \text{ gram} = 78,9 \text{ gram}$
Massa C	= $\frac{85}{100} \times 78,9 \text{ gram} = 67,065 \text{ gram}$
Massa N	= $\frac{5}{100} \times 67,065 \text{ gram} = 3,353 \text{ gram}$
Massa P	= $\frac{1}{100} \times 67,065 \text{ gram} = 0,671 \text{ gram}$
Massa urea yang ditambahkan	= $\frac{100}{46} \times 3,353 = 7,29 \text{ gram}$
Massa TSP yang ditambahkan	= $\frac{100}{46} \times 0,671 = 1,458 \text{ gram}$

Dengan perhitungan seperti di atas, maka didapatkan massa pupuk yang harus ditambahkan ke masing-masing sampel adalah seperti yang terdapat di tabel berikut ini.

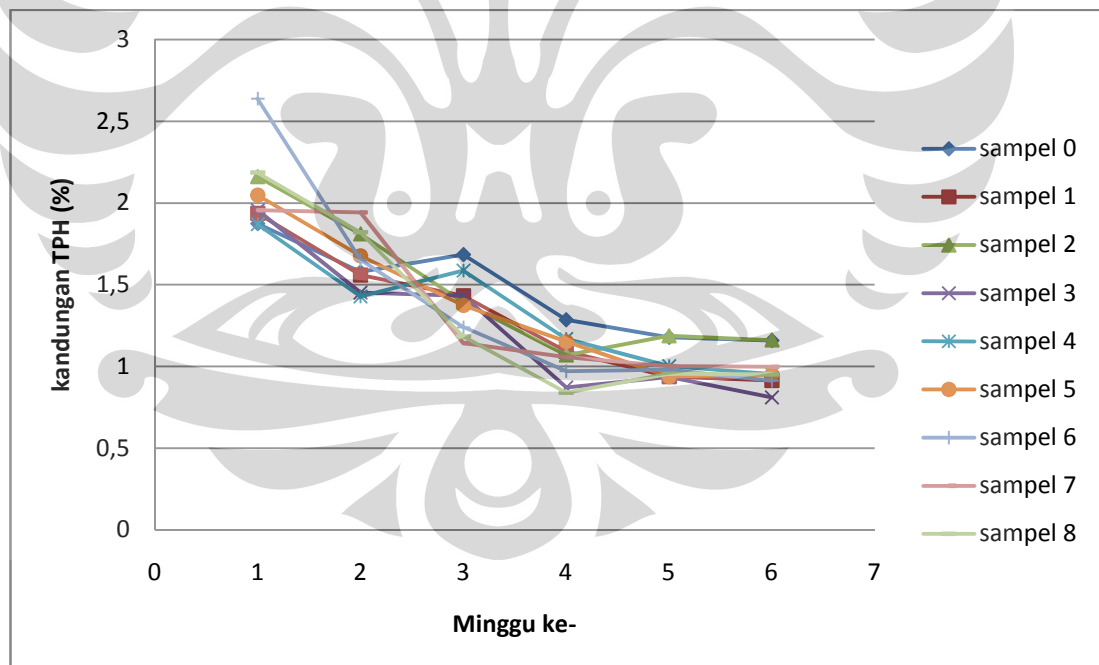
Tabel 5.6. Massa Pupuk yang Ditambahkan.

Nomor Sampel	TPH	Kandungan Minyak (gram)	C (gram)	N (gram)	P (gram)	urea (gram)	TSP (gram)
0	1,578	78,90	67,065	3,353	0,671	7,290	1,458
1	1,559	77,95	66,257	3,313	0,662	7,202	1,440
2	1,810	90,50	76,925	3,846	0,769	8,361	1,672
3	1,452	72,60	61,710	3,085	0,617	6,708	1,342
4	1,428	71,40	60,690	3,034	0,607	6,597	1,319
5	1,676	83,80	71,230	3,561	0,712	7,742	1,548
6	1,653	82,65	70,252	3,513	0,702	7,636	1,527
7	1,943	97,15	82,577	4,129	0,826	8,976	1,795
8	1,820	91,00	77,350	3,867	0,773	8,408	1,682

Sumber: Hasil Perhitungan.

5.5. ANALISIS KUALITAS BIOREMEDIASI

Pengukuran yang dilakukan di laboratorium bertujuan untuk mencari laju penurunan kandungan TPH pada tanah yang diberi perlakuan berbeda. Berikut ini adalah grafik dari penurunan kandungan TPH masing-masing sampel tanah.



Sumber: Hasil Pengukuran, 2010.

Gambar 5.4. Grafik Penurunan Kandungan TPH

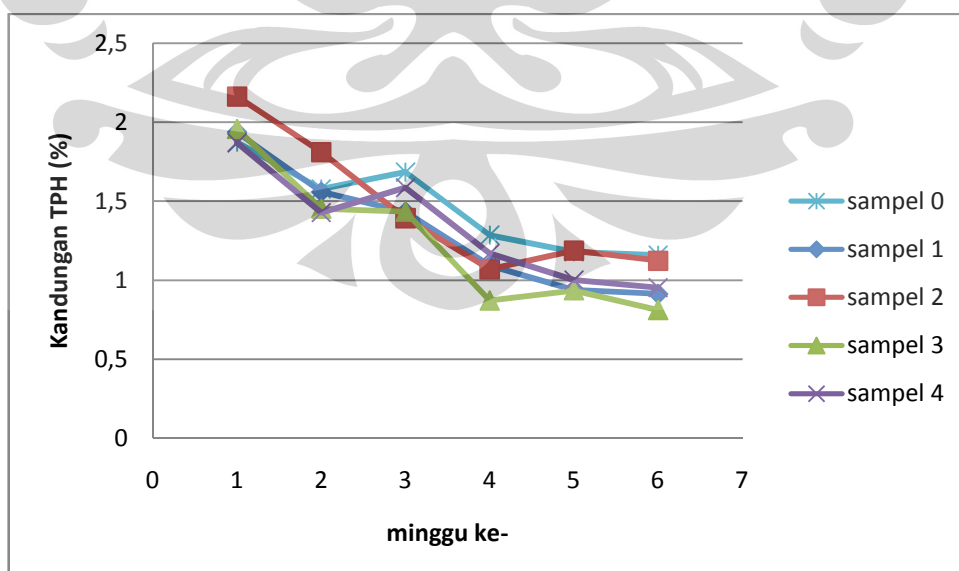
Dari grafik dapat terlihat bahwa nilai awal kandungan TPH tidak sama dari setiap wadah sampel, padahal berasal dari satu daerah yang sama yaitu di Pit C SBF 8D-

58. Penyebab terjadinya hal ini adalah pengadukan yang tidak rata dan penyamplingan. Pengadukan yang tidak rata menyebabkan persebaran minyak yang tidak merata pada tanah sehingga komposisi tanah yang disampling tidak sama di setiap titiknya walaupun sudah diterapkan penyamplingan dengan metode komposit di 5 titik untuk setiap wadah.

Hal lain yang juga penting untuk diperhitungkan dalam teknik bioremediasi adalah waktu (durasi) pengolahan. Hal ini sangat vital untuk menghindari adanya penumpukan tanah terkontaminasi di *stock pile* dan kinerja keseluruhan dari proses bioremediasi tidak terhambat. Karena berhubungan dengan hidup mikroorganisme yang cenderung kompleks dan sulit untuk diprediksi secara pasti maka durasi yang lama menjadi salah satu kelemahan dari penerapan teknik bioremediasi. Dalam penelitian ini, penambahan surfaktan memiliki tujuan utama sebagai agen pemecah awal kontaminan yang terdapat dalam tanah sehingga meringankan beban mikroorganisme untuk mendegradasinya dan durasi dari siklus bioremediasi dapat dipersingkat.

5.5.1. Analisis Perlakuan Dengan Penambahan Surfaktan LABSA

Berikut ini adalah grafik pengaruh penambahan surfaktan LABSA terhadap penurunan kandungan TPH selama enam minggu.

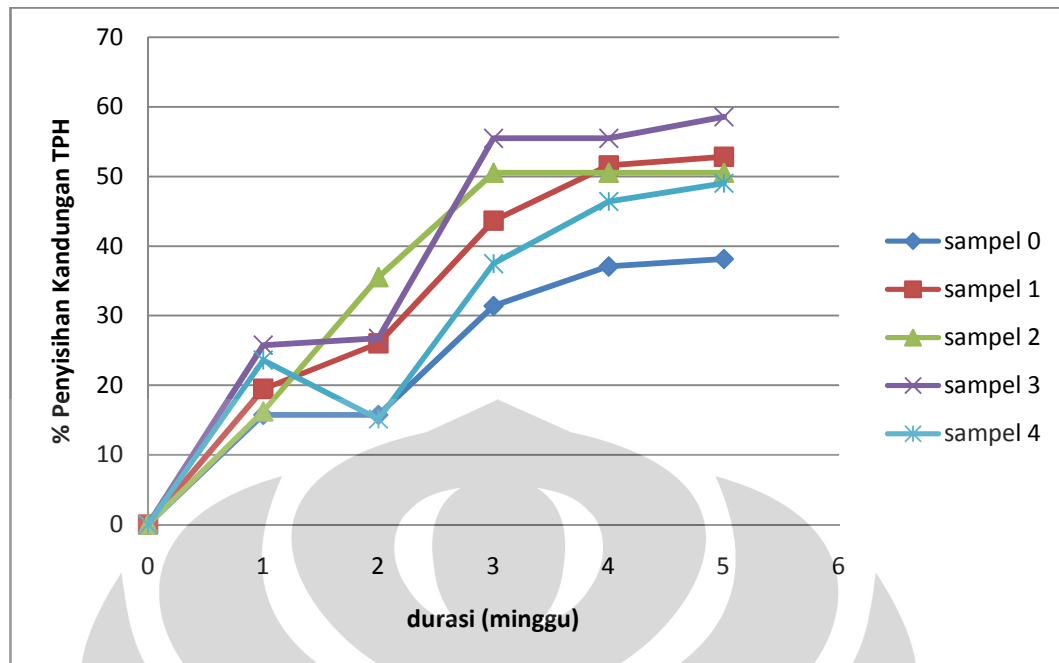


Sumber: Hasil Pengukuran, 2010.

Gambar 5.5. Pengaruh surfaktan LABSA Terhadap Penurunan Kandungan TPH.

Dari grafik terlihat bahwa penurunan kandungan TPH semakin tinggi bersamaan dengan bertambahnya dosis surfaktan LABSA. Penurunan kandungan TPH paling kecil terjadi pada sampel 0, di mana tidak dilakukan penambahan surfaktan. Pada sampel 1, sampel 2, dan sampel 3, penurunan kandungan TPH meningkat seiring dengan bertambahnya jumlah dosis surfaktan sehingga dapat dikatakan penambahan surfaktan LABSA membantu proses degradasi minyak bumi oleh mikroorganisme. Namun pada sampel 4 penurunan kandungan TPH menjadi lebih kecil jika dibandingkan dengan sampel 2, ini dapat disebabkan oleh penambahan dosis surfaktan yang berlebihan (hingga 2,5%) sehingga proses pemecahan minyak bumi menjadi tidak efektif. Perlu diingat bahwa surfaktan LABSA termasuk jenis surfaktan petrokimia sehingga penambahan dosis surfaktan yang berlebihan juga memungkinkan surfaktan LABSA sendiri terhitung sebagai kandungan TPH yang merupakan parameter dari kontaminan sehingga nilai kandungan TPH menjadi lebih tinggi.

Pengaruh penambahan surfaktan LABSA terhadap sampel tanah juga dilihat dari durasi waktu yang diperlukan untuk menurunkan kandungan TPH. Berikut ini adalah grafik yang menunjukkan pengaruh penambahan surfaktan LABSA terhadap durasi waktu.



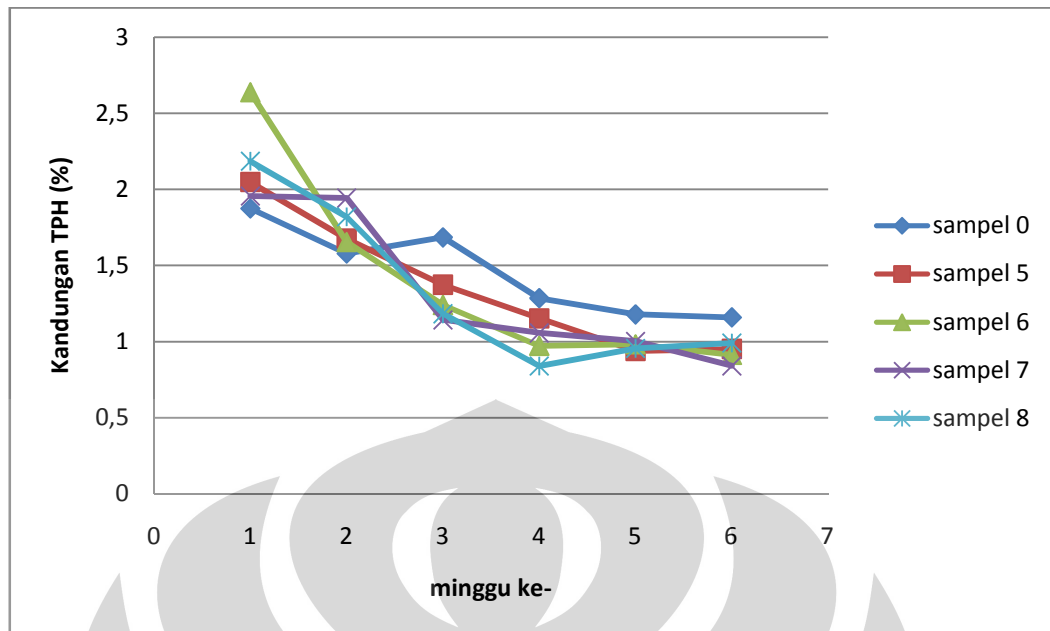
Sumber: Hasil Pengukuran, 2010.

Gambar 5.6. Pengaruh surfaktan LABSA terhadap durasi waktu.

Gambar 5.6 di atas menunjukkan bahwa penambahan surfaktan LABSA membantu mempersingkat durasi yang dibutuhkan mikroorganisme untuk mendegradasi kontaminan. Kandungan TPH menurun dengan cepat dalam waktu empat minggu pertama, dan mengalami penurunan yang sangat kecil pada minggu kelima. Penurunan yang kecil pada minggu terakhir ini disebabkan oleh kandungan TPH pada tanah yang sudah sangat sedikit, yaitu rata-rata di bawah 1%. Kandungan TPH yang sedikit pada minggu terakhir ini mengakibatkan kurangnya persediaan karbon pada tanah yang dijadikan sebagai sumber energi bagi mikroorganisme pendegradasi sehingga kinerja degradasi mikroorganisme pun berkurang sebelum akhirnya mati pada saat ketersediaan karbon sudah benar-benar habis.

5.5.2. Analisis Perlakuan Dengan Penambahan Surfaktan SLS

Berikut ini adalah grafik pengaruh penambahan surfaktan SLS terhadap penurunan nilai TPH selama enam minggu.

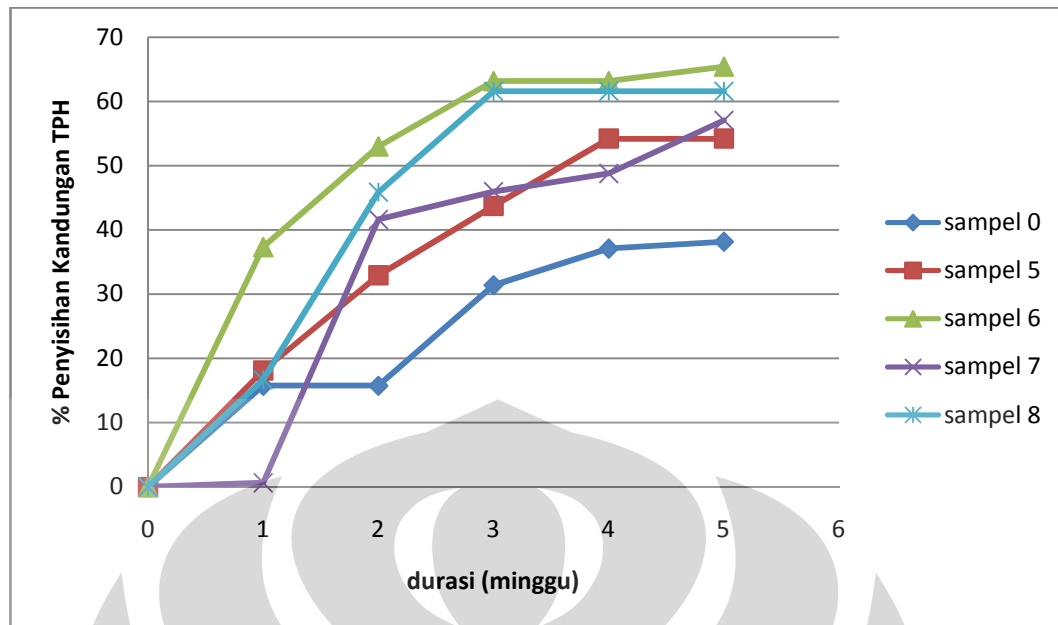


Sumber: Hasil Pengukuran, 2010.

Gambar 5.7. Pengaruh surfaktan SLS Terhadap Penurunan Kandungan TPH.

Seperti pada penambahan surfaktan LABSA, penambahan surfaktan SLS juga terlihat membantu meningkatkan penurunan kandungan TPH. Ini terlihat pada grafik yang menunjukkan bahwa sampel yang diberi penambahan surfaktan SLS menghasilkan penurunan kandungan TPH yang lebih baik dibandingkan dengan sampel 0 yang tidak diberi surfaktan sama sekali. Grafik di atas juga menunjukkan bahwa dosis yang optimum untuk surfaktan SLS adalah 2%, lebih sedikit dibandingkan dengan surfaktan LABSA. Sampel lain yang diberi surfaktan SLS dengan dosis 1,75%, 2,25% dan 2,5% mengalami penurunan kandungan TPH yang tidak berbeda jauh satu sama lain dan berada di bawah penurunan kandungan TPH yang dialami oleh sampel 6 dengan dosis 2%. Hal ini menunjukkan bahwa penambahan surfaktan SLS sangat bergantung pada dosis optimum, kekurangan atau kelebihan penambahan surfaktan ini akan berpengaruh cukup besar pada ketidakefektifan dalam pemecahan limbah minyak pada tanah.

Pengaruh penambahan surfaktan SLS terhadap sampel tanah juga dilihat dari durasi waktu yang diperlukan untuk menurunkan kandungan TPH. Berikut ini adalah grafik yang menunjukkan pengaruh penambahan surfaktan SLS terhadap durasi waktu.



Sumber: Hasil Pengukuran, 2010.

Gambar 5.8. Pengaruh surfaktan SLS Terhadap Durasi Waktu.

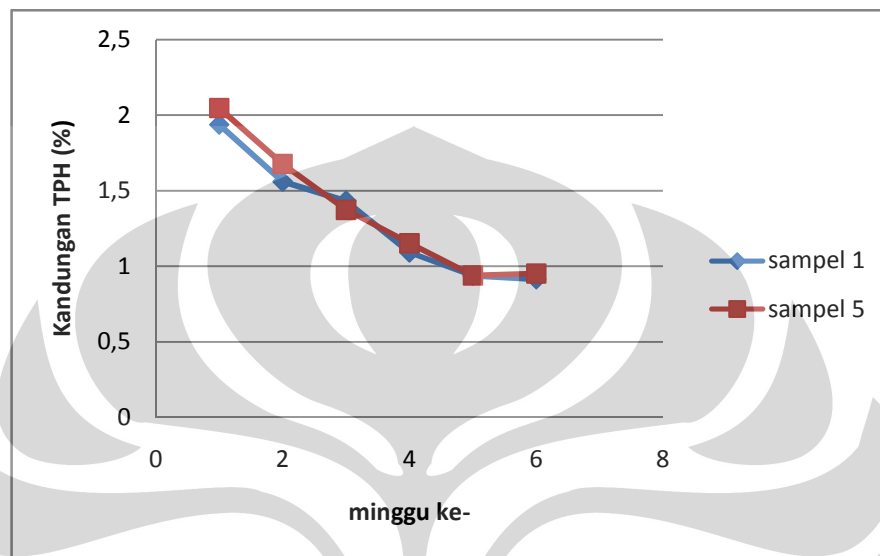
Penambahan surfaktan SLS menunjukkan pengaruh yang cukup besar dalam mempersingkat durasi bioremediasi. Gambar 5.8 di atas menunjukkan bahwa terjadi degradasi kontaminan yang sangat tinggi pada tiga minggu pertama, dan kemudian menjadi sangat kecil sehingga grafik terlihat sangat datar pada minggu keempat dan kelima. Sampel yang diberi penambahan surfaktan SLS menunjukkan hasil yang lebih baik ditunjukkan oleh durasi yang lebih singkat yaitu 3 minggu untuk mencapai kandungan TPH rata-rata di bawah 1%, dibandingkan dengan sampel yang diberi penambahan surfaktan LABSA yang membutuhkan waktu 4 minggu. Namun sama seperti yang terjadi pada penambahan surfaktan LABSA, pada minggu-minggu terakhir degradasi yang terjadi sangat kecil (cenderung mendekati nol). Degradasi yang lebih cepat menyebabkan habisnya persediaan karbon yang lebih cepat pula sehingga proses degradasi sudah mulai terhenti setelah empat minggu.

5.5.3. Analisis Perbedaan Konsentrasi Surfaktan Terhadap Sampel Tanah

Perbedaan perlakuan dalam penelitian ini terletak pada jenis surfaktan dan dosis yang berbeda dari masing-masing jenis surfaktan tersebut. Berikut ini adalah analisa sampel tanah berdasarkan variasi dosis yang ditetapkan.

- a) Pengaruh surfaktan dengan dosis 1,75% terhadap penurunan kandungan TPH

Berikut ini adalah grafik pengaruh penambahan surfaktan dengan dosis 1,75% terhadap penurunan kandungan TPH selama enam minggu.

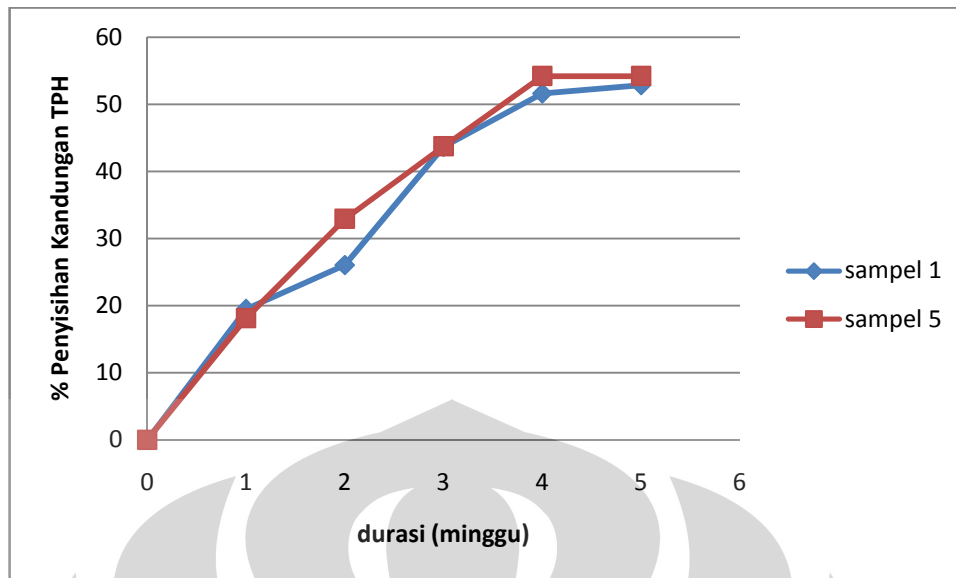


Sumber: Hasil Pengukuran, 2010.

Gambar 5.9. Pengaruh Penambahan Surfaktan Dosis 1,75% Terhadap Penurunan Kandungan TPH.

Penambahan dosis 1,75% untuk kedua jenis surfaktan ternyata tidak menunjukkan perbedaan yang berarti jika dilihat pada grafik di atas. Hal ini dapat disebabkan karena 1,75% surfaktan adalah dosis yang kurang untuk memecah limbah minyak dengan volume yang terdapat pada kedua sampel, sehingga masih banyak senyawa hidrokarbon yang tidak terpecah dan penambahan surfaktan ini menjadi tidak berpengaruh banyak dalam penurunan kandungan TPH.

Pengaruh penambahan 1,75% surfaktan terhadap sampel tanah juga dilihat dari durasi waktu yang diperlukan untuk menurunkan kandungan TPH. Berikut ini adalah grafik yang menunjukkan pengaruh penambahan surfaktan dengan dosis 1,75% terhadap durasi waktu.



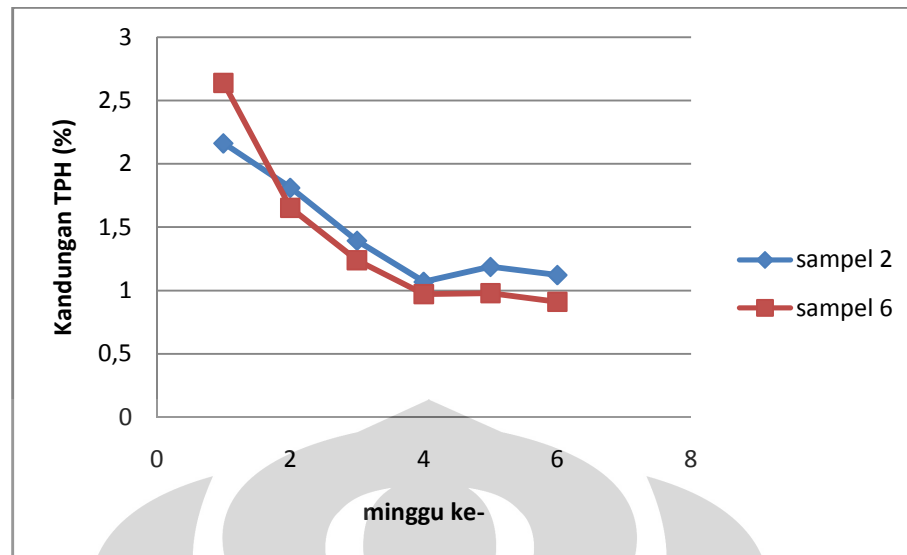
Sumber: Hasil Pengukuran, 2010.

Gambar 5.10. Pengaruh Penambahan Surfaktan Dosis 1,75% Terhadap Durasi Waktu.

Pada dosis 1,75% kedua surfaktan baik LABSA maupun SLS menunjukkan kemampuan untuk menurunkan kandungan TPH yang hampir sama seperti yang ditunjukkan pada Gambar 5.10. Durasi waktu yang dibutuhkan mikroorganisme untuk mendegradasi adalah 4 minggu, sebelum akhirnya grafik menjadi datar yang menandakan proses degradasi sudah sangat kecil sehingga mendekati nol. Dosis surfaktan yang kurang untuk memecah limbah minyak ini terjadi pada kedua jenis surfaktan. Dengan kata lain, surfaktan LABSA maupun surfaktan SLS tidak efektif untuk digunakan pada dosis 1,75% karena berlebihnya beban kontaminan yang harus dipecah.

b) Pengaruh surfaktan dengan dosis 2% terhadap penurunan TPH

Berikut ini adalah grafik pengaruh penambahan surfaktan dengan dosis 2% terhadap penurunan kandungan TPH selama enam minggu.

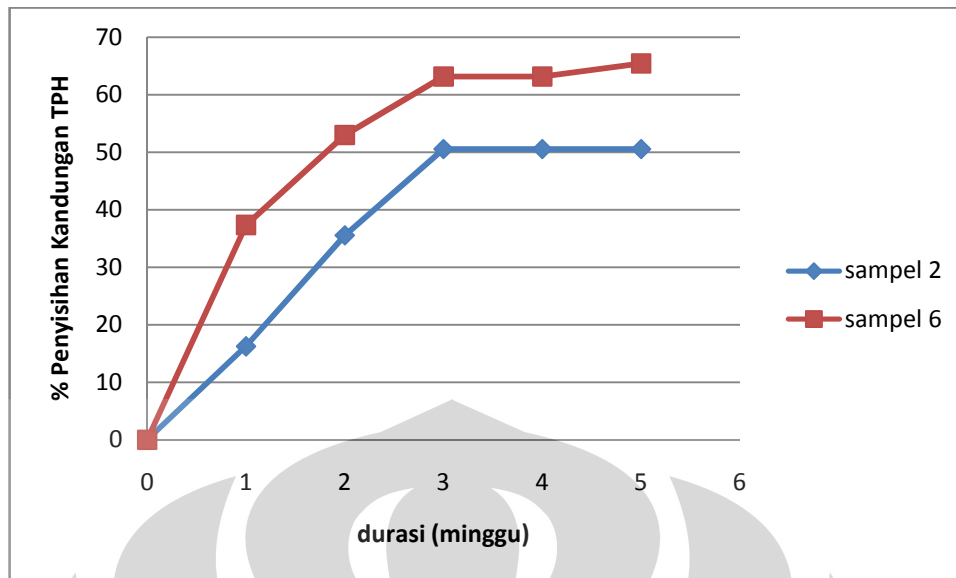


Sumber: Hasil Pengukuran, 2010.

Gambar 5.11. Pengaruh Penambahan Surfaktan Dosis 2% Terhadap Penurunan Kandungan TPH.

Penambahan dosis 2% untuk surfaktan LABSA dan SLS menunjukkan perbedaan yang cukup besar. Dilihat pada grafik, penurunan kandungan TPH lebih jauh dialami oleh sampel 6 yang ditambahkan surfaktan SLS. Seperti pada pembahasan sebelumnya, pada dosis 2% surfaktan SLS telah mencapai dosis optimum sedangkan pada dosis ini surfaktan LABSA belum cukup untuk memecah semua limbah minyak yang ada. Hal ini mengakibatkan perbedaan yang cukup besar dalam keefektifan kedua surfaktan dalam membantu penurunan kandungan TPH.

Pengaruh penambahan 2% surfaktan terhadap sampel tanah juga dilihat dari durasi waktu yang diperlukan untuk menurunkan kandungan TPH. Berikut ini adalah grafik yang menunjukkan pengaruh penambahan surfaktan dengan dosis 2% terhadap durasi waktu.



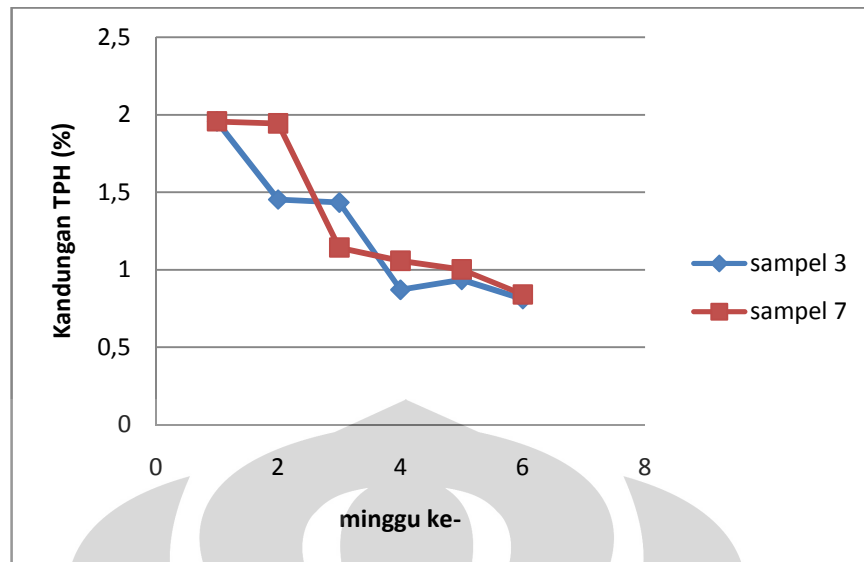
Sumber: Hasil Pengukuran, 2010.

Tabel 5.12. Pengaruh Penambahan Surfaktan Dosis 2% Terhadap Durasi Waktu.

Pada penambahan surfaktan dengan dosis 2% seperti yang diperlihatkan pada Gambar 5.12, terjadi perbedaan cukup besar antara kedua jenis surfaktan. Surfaktan LABSA menurunkan kandungan TPH dengan kecepatan nyaris linier selama 3 minggu, dan berikutnya menjadi datar karena terhentinya proses degradasi. Surfaktan SLS menurunkan kandungan TPH dengan tajam hanya dalam waktu satu minggu, dan pada dua minggu berikutnya proses degradasi tetap berlangsung walaupun tidak secepat yang terjadi pada minggu pertama. Dengan durasi waktu yang sama yaitu tiga minggu, sampel dengan penambahan surfaktan SLS mengalami penurunan kandungan TPH yang jauh lebih besar daripada sampel dengan penambahan surfaktan LABSA.

- c) Pengaruh surfaktan dengan dosis 2,25% terhadap penurunan kandungan TPH

Berikut ini adalah grafik pengaruh penambahan surfaktan dengan dosis 2,25% terhadap penurunan kandungan TPH selama enam minggu.

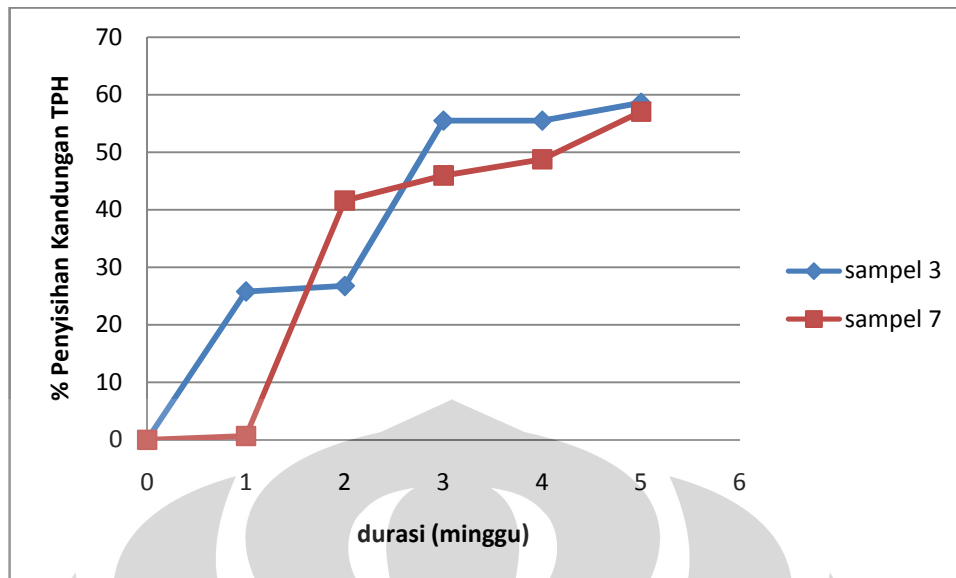


Sumber: Hasil Pengukuran, 2010.

Gambar 5.13. Pengaruh Penambahan Surfaktan Dosis 2,25% Terhadap Penurunan Kandungan TPH.

Berdasarkan pembahasan sebelumnya, dosis 2,25% adalah dosis optimum bagi surfaktan LABSA untuk mencapai penurunan kandungan TPH maksimal. Namun terlihat pada grafik bahwa penurunan kandungan TPH yang dicapai oleh kedua jenis surfaktan pada dosis ini ternyata tidak berbeda jauh. Meskipun surfaktan LABSA terlihat sangat efektif pada minggu-minggu pertama, namun surfaktan SLS juga mencapai penurunan kandungan TPH yang drastis pada minggu kedua sehingga perbedaan penurunan kandungan TPH yang dicapai oleh kedua sampel ini tidak berbeda jauh.

Pengaruh penambahan 2,25% surfaktan terhadap sampel tanah juga dilihat dari durasi waktu yang diperlukan untuk menurunkan kandungan TPH. Berikut ini adalah grafik yang menunjukkan pengaruh penambahan surfaktan dengan dosis 2,25% terhadap durasi waktu.



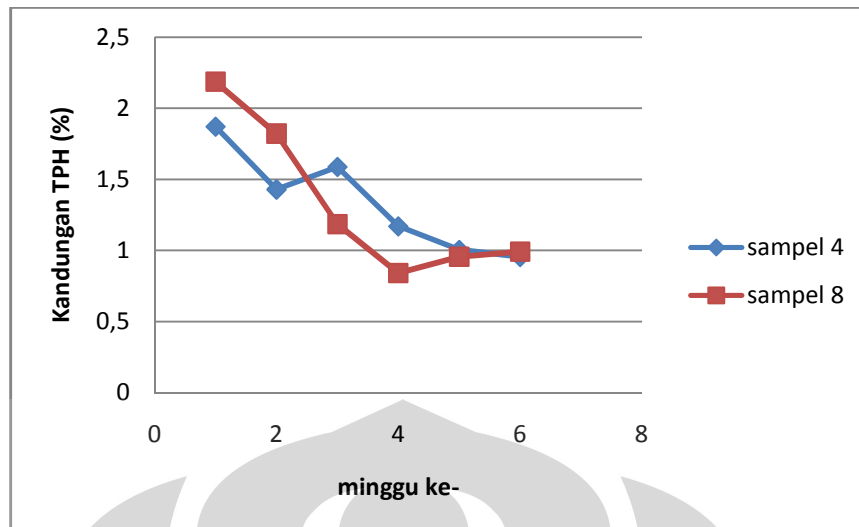
Sumber: Hasil Pengukuran, 2010.

Gambar 5.14. Pengaruh Penambahan Surfaktan Dosis 2,25% Terhadap Durasi Waktu.

Dosis 2,25 merupakan dosis optimum bagi surfaktan LABSA, terlihat pada gambar 5.14 bahwa kinerja surfaktan LABSA lebih baik daripada kinerja surfaktan SLS yang baru mengalami penurunan kandungan TPH pada minggu kedua. Hasil akhir penurunan kandungan TPH yang dicapai adalah sama, namun surfaktan LABSA memerlukan durasi yang lebih singkat sehingga, ditunjukkan oleh grafik yang meningkat selama tiga minggu. Walaupun sampel tanah dengan penambahan surfaktan SLS mengalami penurunan TPH yang cukup tajam setelah dua minggu, namun dibutuhkan waktu sekitar lima minggu untuk menyamai kinerja surfaktan LABSA.

d) Pengaruh surfaktan dengan dosis 2,5% terhadap penurunan kandungan TPH

Berikut ini adalah grafik pengaruh penambahan surfaktan dengan dosis 2,5% terhadap penurunan kandungan TPH selama enam minggu.

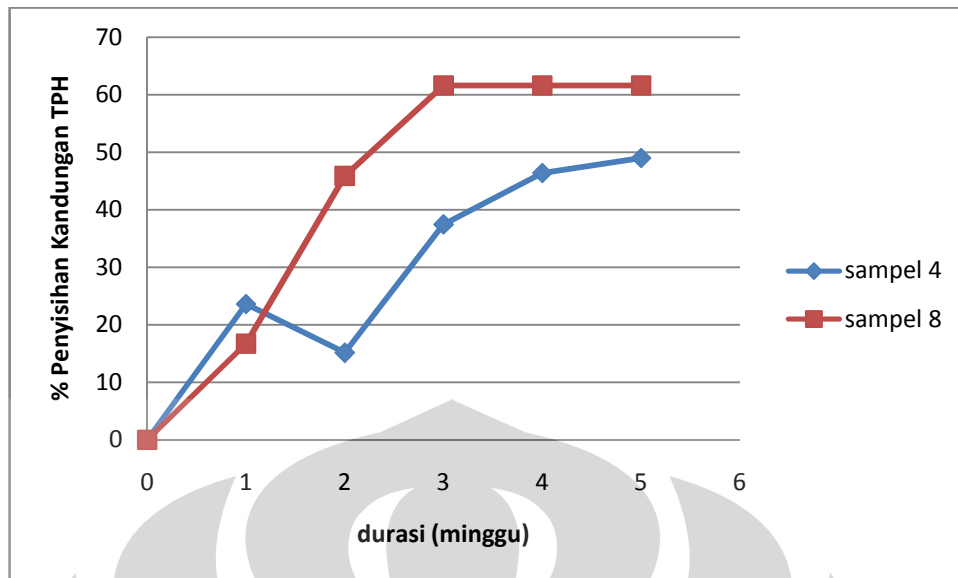


Sumber: Hasil Pengukuran, 2010.

Gambar 5.15. Pengaruh Penambahan Surfaktan Dosis 2,5% Terhadap Penurunan Kandungan TPH.

Dosis 2,5% merupakan dosis yang berlebihan bagi kedua jenis surfaktan, baik surfaktan LABSA maupun surfaktan SLS. Namun jika dilihat grafik di atas, ternyata penurunan kandungan TPH yang dicapai oleh sampel 8 yang diberi tambahan surfaktan SLS lebih baik dibandingkan dengan penurunan kandungan TPH yang dicapai oleh sampel 4 yang diberi tambahan surfaktan LABSA. Hal ini memperkuat teori mengenai pemberian yang berlebihan akan surfaktan LABSA menjadikan pengolahan minyak bumi oleh mikroorganisme menjadi tidak efektif, selain itu surfaktan LABSA sendiri yang merupakan jenis surfaktan petrokimia akan terhitung sebagai limbah sehingga kandungan TPH menjadi lebih tinggi daripada seharusnya.

Pengaruh penambahan 2,5% surfaktan terhadap sampel tanah juga dilihat dari durasi waktu yang diperlukan untuk menurunkan kandungan TPH. Berikut ini adalah grafik yang menunjukkan pengaruh penambahan surfaktan dengan dosis 2,5% terhadap durasi waktu.



Sumber: Hasil Pengukuran, 2010.

Gambar 5.16. Pengaruh Penambahan Surfaktan Dosis 2,5% Terhadap Durasi Waktu.

Untuk penambahan surfaktan dengan dosis 2,5%, kinerja surfaktan SLS jauh di atas kinerja surfaktan LABSA, seperti ditunjukkan pada Gambar 5.16. Seperti yang dijelaskan sebelumnya, penurunan kandungan TPH yang dialami sampel dengan penambahan surfaktan LABSA tidak cukup besar walaupun selama lima minggu. Sedangkan pada sampel yang diberi penambahan surfaktan SLS, terlihat penurunan kandungan TPH yang cukup besar selama tiga minggu. Namun penurunan ini tidak lebih besar daripada yang dialami oleh sampel yang diberi penambahan surfaktan SLS dengan dosis 2%, dan durasi yang dibutuhkan juga lebih lama.

Tabel 5.7. Persentase Penurunan Kandungan TPH Optimal.

	dosis optimal	persen penurunan
tanpa surfaktan	-	38,14
surfaktan LAS	2,25%	58,56
surfaktan SLS	2%	65,41

Sumber: Hasil Pengukuran, 2010.

Dengan penambahan surfaktan LAS dengan dosis 2,25% terlihat penurunan kandungan TPH sebesar 58,56%. Penurunan ini terlihat cukup signifikan jika dibandingkan dengan penurunan kandungan TPH pada sampel tanpa surfaktan,

yaitu hanya sebesar 38,14%. Namun pada tabel 5.5. juga terlihat bahwa penurunan kandungan TPH terbesar terdapat pada sampel yang diberi surfaktan SLS, yaitu sebesar 65,41%. Hal ini menunjukkan bahwa kinerja surfaktan SLS lebih efektif dan efisien dibandingkan dengan kinerja surfaktan LAS, terlihat pada dosis optimal di antara kedua surfaktan tersebut di mana dosis optimal surfaktan LAS adalah 2,25% sedangkan dosis optimal surfaktan SLS hanya sebesar 2%.

Pada data juga terlihat kemampuan degradasi yang ditunjukkan oleh penurunan kandungan TPH akan semakin besar sehingga mencapai dosis optimum masing-masing surfaktan, namun setelah melewati dosis optimum kemampuan degradasi akan menurun. Hal ini disebabkan oleh karena bahan baku dari kedua surfaktan itu sendiri yang merupakan minyak bumi dan minyak nabati yang juga memiliki rantai karbon (C) sehingga dengan dosis yang berlebih akan ikut dihitung sebagai kontaminan dalam tanah.

5.6. ANALISIS KELEBIHAN DAN KEKURANGAN KEDUA JENIS SURFAKTAN

5.6.1. Analisis Dari Segi Kemudahan Operasi dan Pengontrolan

Dalam operasi selama teknik bioremediasi hal yang sangat penting untuk diperhatikan berkaitan dengan penambahan surfaktan adalah pada saat pencampuran. Dalam hal ini, yang dicampurkan adalah antara tanah terkontaminasi dengan surfaktan. Surfaktan yang digunakan dalam penelitian ini adalah LAS untuk surfaktan petrokimia dan SLS untuk surfaktan oleokimia.

Surfaktan LAS yang digunakan pada penelitian ini adalah Linear Alkyl *Benzene Sulphonic Acid* (LABSA) yang memiliki karakteristik cairan kental berwarna coklat. LABSA bersifat asam dengan pH sekitar 2 – 3, dan larut dalam air namun tidak pada pelarut organik. Sedangkan surfaktan SLS memiliki karakteristik berupa pasta berwarna putih transparan dengan pH netral dan juga dapat larut di dalam air. Walaupun berbentuk cair sehingga mudah dicampurkan ke dalam tanah dibandingkan SLS yang berbentuk pasta, penggunaan LABSA dalam skala besar memerlukan pengontrolan khusus pada pH tanah, karena LABSA memiliki pH yang cenderung asam (pH 2-3) sedangkan mikroorganisme

memerlukan pH netral (pH 6-8) untuk dapat tumbuh dengan optimal. Dalam hal ini penggunaan SLS lebih menguntungkan karena memiliki pH netral sehingga tidak terlalu berpengaruh terhadap pH tanah dan pada pelaksanaannya hanya berfokus pada usaha untuk mengaduk tanah dengan surfaktan hingga homogen.

5.6.2. Analisis Dari Segi Toksisitas dan Tingkat Bahaya

Toksisitas dan tingkat bahaya dari kedua jenis surfaktan ini penting untuk dibahas, karena berpengaruh terhadap beberapa hal berikut ini:

1. Kesehatan pelaksana operasi di lapangan

Pelaksana operasi di lapangan adalah para pekerja yang berhubungan langsung dengan surfaktan yang dijadikan zat aditif dalam proses bioremediasi. Kesehatan para pekerja di lapangan menjadi hal utama yang harus diperhatikan karena golongan ini menjadi pihak yang terpapar dalam frekuensi lebih tinggi dan durasi yang lebih lama. Penyediaan Alat Pelindung Diri (APD) dan antisipasi medis harus disediakan apabila diperlukan.

2. Keamanan pelaksanaan operasi

Keamanan dalam pelaksanaan sangat penting untuk diperhatikan untuk memperkecil risiko bahaya terjadinya kecelakaan. Tingkat bahaya dari suatu bahan akan mempengaruhi risiko apabila terjadi tumpahan, kebocoran, penguapan gas, atau kebakaran.

3. Kelestarian Lingkungan

Kelestarian lingkungan dapat terancam apabila bahan dengan tingkat bahaya tinggi mengalami kebocoran atau tumpahan dan masuk ke lingkungan seperti badan air atau aliran air tanah.

Untuk analisis lebih lanjut, berikut ini disajikan tabel yang menunjukkan identifikasi dan perbandingan toksisitas dari surfaktan LABSA dan surfaktan SLS.

Tabel 5.8. Perbandingan Toksisitas dan Tingkat Bahaya Surfaktan LABSA dan Surfaktan SLS.

	Surfaktan LABSA	Surfaktan SLS
Bentuk fisik	Cairan kental berwarna cokelat	Pasta bening
Berat spesifik	1,03 gram/mL	1,00 gram/mL
Identifikasi bahaya	<ul style="list-style-type: none"> - Bahaya jika tertelan - Menimbulkan luka bakar (korosif) - Gas dan uap menyebabkan gangguan sistem pernapasan 	<ul style="list-style-type: none"> - Menimbulkan iritasi pada mata - Menimbulkan iritasi pada kulit - Gas dan Uap menyebabkan gangguan sistem pernapasan
Tingkat bahaya	<p>NFPA* rating</p> <ul style="list-style-type: none"> - <i>Health</i> (2): Berbahaya, membutuhkan Alat Pelindung Diri (APD) ketika berhubungan dengan material - <i>Flammability</i> (0): Tidak dapat terbakar - <i>Reactivity</i> (0): Stabil dalam kondisi normal 	<p>HMIS ** rating</p> <ul style="list-style-type: none"> - <i>Health</i> (3): Sangat berbahaya, mungkin terjadi luka berat kecuali ditangani dengan tepat dan penanganan medis. Gunakan APD penuh. - <i>Flammability</i> (1): Harus dipanaskan dulu untuk dapat terbakar - <i>Reactivity</i> (0): Stabil dalam kondisi normal, tidak bereaksi dengan air
Hasil dekomposisi	Tidak menghasilkan zat berbahaya pada proses dekomposisi	Menghasilkan oksida karbon dan sulfur
LC -50	<ul style="list-style-type: none"> - Untuk ikan, 1-5 mg/L - Untuk alga, 10-300 mg/L 	<ul style="list-style-type: none"> - Untuk ikan, 10-100 mg/L - Untuk alga, 1-10 mg/L
Proteksi lingkungan	Tidak boleh dibuang ke badan air tanpa pengolahan terlebih dahulu	Hindari pengeluaran yang tidak terkontrol ke lingkungan. Bila terjadi tumpahan, lakukan tindakan untuk respon menyeluruh.

Sumber: Hasil Olahan.

*) *National Fire Protection Association*

***) *Hazardous Materials Identification System*

Dilihat dari tabel 5.8, surfaktan SLS memiliki tingkat bahaya yang lebih tinggi daripada surfaktan LABSA. Kedua surfaktan bersifat berbahaya dan menyebabkan iritasi terhadap mata, kulit, dan pernapasan. Berikut ini adalah APD yang harus digunakan ketika melakukan kontak dengan surfaktan, baik surfaktan LABSA maupun surfaktan SLS:

1. Perlindungan mata, dengan *safety glasses* atau *safety goggles*.
2. Perlindungan kulit, dengan sarung tangan dan pakaian tertutup.
3. Perlindungan pernapasan, dengan masker atau respirator yang sesuai standar NIOSH atau standar OSHA.

Selain perlindungan diri, tumpahan dan kebocoran juga harus dihindari. Tingkat flamabilitas dari surfaktan SLS lebih tinggi daripada surfaktan LABSA, namun selama tidak terjadi proses pemanasan maka penggunaan surfaktan SLS masih tergolong aman. Kedua surfaktan sebaiknya disimpan dalam kontainer tertutup pada suhu kamar dan tidak terkena sinar matahari langsung agar tidak terjadi vaporisasi. Tumpahan ke lingkungan juga wajib dihindari. Surfaktan LABSA berbahaya jika masuk ke dalam badan air, sedangkan surfaktan SLS walaupun tidak dijelaskan secara spesifik namun pelepasannya ke lingkungan harus sangat dikontrol dan jangan sampai terjadi tumpahan.

Adapun toksisitas dan tingkat bahaya dari surfaktan berbeda-beda tergantung dari bahan tambahan dan proses produksi yang dilakukan. Maka dari itu acuan berupa *Material Safety Data Sheet* (MSDS) setiap produk surfaktan harus sangat diperhatikan dan tindakan antisipasi harus dipersiapkan.

5.6.3. Analisis Dari Segi Biaya

Biaya proses bioremediasi dengan adanya penambahan surfaktan ini tentunya lebih besar daripada biaya bioremediasi konvensional yang tidak menggunakan surfaktan. Pengaruh lain adalah pemilihan jenis surfaktan, yang ditentukan oleh dosis optimum, sehingga biaya yang diperlukan akan berbeda tergantung dari dosis optimum surfaktan yang digunakan tersebut.

Harga surfaktan LABSA adalah sekitar \$830.00/MT sedangkan harga surfaktan SLS adalah sekitar \$960.00. Berikut ini adalah perbandingan biaya yang dibutuhkan antara penggunaan surfaktan LABSA dan surfaktan SLS.

Asumsi:

Berat tanah = 1500 Kg
Kandungan TPH = 12%

1. Surfaktan LABSA yang dibutuhkan:

W tanah = 1500 Kg
W kontaminan = $\frac{12}{100} \times 1500Kg = 180 Kg$
W LABSA = $\frac{2,25}{100} \times 180Kg = 4,05Kg$

Di mana dosis optimum surfaktan LABSA untuk proses bioremediasi sesuai penelitian adalah 2,25%.

Harga surfaktan LABSA = \$830.00/MT = Rp. 7677,50/Kg

Catatan: diasumsikan \$1.00 = Rp. 9.250,00

Harga surfaktan LABSA untuk pengolahan 1500 Kg tanah adalah:

$4.05 Kg \times Rp. 7677,50 = Rp. 31.093,88$

2. Surfaktan SLS yang dibutuhkan:

W tanah = 1500 Kg
W kontaminan = $\frac{12}{100} \times 1500Kg = 180 Kg$
W LABSA = $\frac{2}{100} \times 180Kg = 3,6Kg$

Di mana dosis optimum surfaktan LABSA untuk proses bioremediasi sesuai penelitian adalah 2%.

Harga surfaktan LABSA = \$960.00/MT = Rp. 8.880,00/Kg

Catatan: diasumsikan \$1.00 = Rp. 9.250,00

Harga surfaktan LABSA untuk pengolahan 1500 Kg tanah adalah:

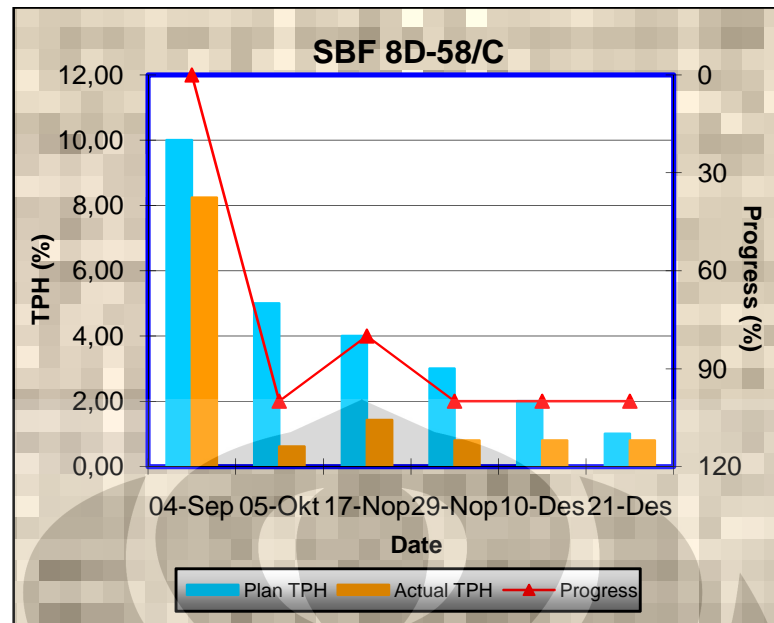
$3.6 Kg \times Rp. 8.880,00 = Rp. 31.968,00$

Dari perhitungan di atas dapat dilihat bahwa untuk mengolah 1500 Kg tanah dengan asumsi kandungan TPH 12% dibutuhkan biaya lebih besar untuk penggunaan surfaktan SLS dibandingkan surfaktan LABSA. Selisih biaya antara kedua jenis surfaktan ini adalah Rp. 874,12.

Penggunaan surfaktan SLS lebih hemat dibandingkan penggunaan surfaktan LABSA karena dosis optimumnya hanya 2%. Namun karena harga yang lebih mahal, maka surfaktan LABSA lebih ekonomis dibandingkan surfaktan SLS walaupun dengan volume tanah yang lebih besar.

5.7. Keefektifan Penambahan Surfaktan Dibandingkan Dengan Proses Bioremediasi di PT Chevron Pacific Indonesia

Dalam percobaan yang telah dilakukan selama penelitian, terlihat bahwa penambahan surfaktan ternyata memberikan dampak yang lebih baik untuk penurunan kandungan TPH dibandingkan dengan tanpa penambahan surfaktan. Berikutnya akan dilakukan perbandingan antara penurunan kandungan TPH akibat penambahan surfaktan yang dilakukan dalam penelitian dengan penurunan kandungan TPH yang terjadi di lapangan selama proses bioremediasi dengan teknik landfarming yang dilakukan oleh PT Chevron Pacific. Berikut ini adalah grafik penurunan kandungan TPH selama proses bioremediasi di SBF 8D-58 Pit C.



Sumber: PT Chevron Pacific Indonesia.

Gambar 5.17. Grafik Penurunan Kandungan TPH SBF 8D-58 Pit C.

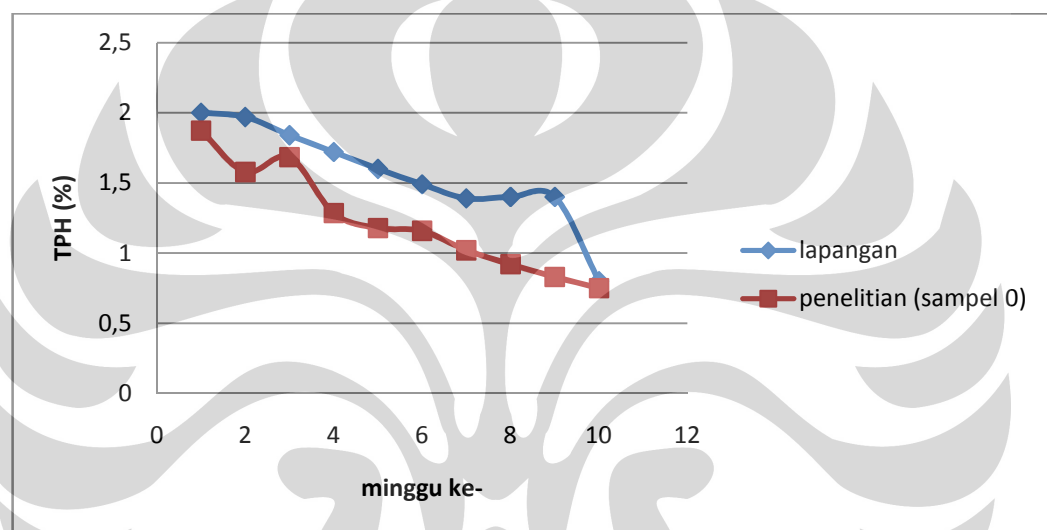
Grafik di atas menunjukkan penurunan kandungan TPH untuk satu siklus bioremediasi. Dapat dilihat bahwa awalnya tanah yang mengandung TPH sekitar 8,24% dapat diturunkan hingga menjadi 0,8% dalam waktu 3 bulan 17 hari. Karena pada penelitian ini menggunakan tanah dengan kandungan TPH awal sekitar 2%, maka perlu dibandingkan antara kondisi penelitian dengan bioremediasi aktual di lapangan dalam hal waktu yang diperlukan untuk menurunkan kandungan TPH awal sekitar 2%. Grafik di atas menunjukkan bahwa kandungan TPH tidak selalu turun, hal ini dapat disebabkan oleh tidak ratanya kondisi tanah di lapangan sehingga berpengaruh besar dalam pengambilan sampel yang tidak homogen. Kesulitan untuk membandingkan kedua pelaksanaan bioremediasi ini juga terletak pada keterbatasan data, dikarenakan data penelitian hanya tersedia sampai minggu ke 6 sedangkan data bioremediasi di lapangan ternyata memerlukan 10 minggu. Untuk itu maka data yang menunjukkan kenaikan kandungan TPH tidak dimasukkan dan sebagai gantinya dilakukan penghitungan kandungan TPH menggunakan fungsi eksponensial yang dapat dijadikan perkiraan kandungan TPH yang mendekati aktual. Penggunaan fungsi eksponensial ini juga digunakan untuk memperkirakan kandungan TPH pada sampel penelitian untuk minggu 7 hingga minggu 10. Berikut ini adalah data hasil

perhitungan untuk bioremediasi di lapangan dan bioremediasi yang dilakukan selama penelitian.

Tabel 5.9. Perbandingan Penurunan Kandungan TPH di Lapangan dan di Penelitian.

minggu ke	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
TPH lapangan (%)	2	1.97	1.84	1.72	1.6	1.49	1.39	1.4	1.4	0.8
TPH penelitian, sampel 0 (%)	1.87	1.58	1.68	1.28	1.18	1.16	1.02	0.92	0.83	0.75

Sumber: Hasil Perhitungan, 2010



Sumber: Hasil Olahan.

Gambar 5.18. Perbandingan Kandungan Penurunan TPH Pada SBF 8D-58 dan Hasil Penelitian.

Pada grafik terlihat bahwa tidak terdapat perbedaan yang terlalu besar antara penurunan kandungan TPH pada bioremediasi di lapangan dan penurunan kandungan TPH pada bioremediasi selama penelitian. Penurunan kandungan TPH pada bioremediasi aktual di lapangan memang terlihat cenderung lebih landai dibandingkan dengan bioremediasi pada penelitian, namun pada minggu terakhir terjadi penurunan kandungan TPH yang cukup besar sehingga laju penurunan kandungan TPH pada kedua bioremediasi ini menjadi tidak terlalu jauh. Laju penurunan TPH pada bioremediasi di lapangan adalah sekitar 1,2% sedangkan laju penurunan kandungan TPH pada bioremediasi yang dilakukan selama penelitian adalah sekitar 1,23%. Dengan perbedaan yang sangat tipis ini maka

dapat dilihat bahwa perlakuan pada bioremediasi selama penelitian telah mendekati perlakuan pada bioremediasi yang dilakukan di lapangan.

Pada pembahasan sebelumnya dapat dilihat bahwa sampel 0 yang sama sekali tidak diberi penambahan surfaktan memiliki penurunan kandungan TPH paling kecil. Karena penurunan kandungan TPH pada sampel 0 tidak berbeda jauh dengan penurunan kandungan TPH pada bioremediasi di lapangan maka dapat dikatakan bahwa penambahan surfaktan pada bioremediasi di lapangan akan mampu memecah limbah seperti yang dilakukan selama penelitian di laboratorium dan akan sangat membantu dalam menurunkan kandungan TPH sehingga durasi yang dibutuhkan untuk menurunkan kandungan TPH sampai dengan persentase yang diinginkan akan semakin singkat.

5.8. Perbandingan Kondisi Penelitian Dengan Kondisi di SBF

Terdapat beberapa perbedaan antara kondisi penelitian di laboratorium dengan kondisi bioremediasi aktual di lapangan. Perbedaan yang paling utama adalah suhu dan desain *site* bioremediasi.

a. Suhu

Perbedaan suhu terjadi pada dasarnya karena kedua bioremediasi dilakukan di tempat yang berbeda. Pada penelitian di laboratorium proses bioremediasi dilakukan di dalam ruangan (*indoor*), sedangkan pada kondisi aktual proses bioremediasi akan terjadi di *outdoor*. Pengontrolan suhu di dalam ruangan lebih mudah dan suhu akan cenderung konstan, hal ini menyebabkan tidak adanya perubahan suhu yang ekstrim sehingga mikroorganisme dapat hidup dengan nyaman. Berbeda dengan kondisi di dalam ruangan, suhu di lapangan lebih bervariasi dipengaruhi oleh cuaca dan iklim sehingga dapat menyebabkan kemampuan biodegradasi dari mikroorganisme terganggu.

b. Desain *site* bioremediasi

Penelitian ini dilakukan dalam skala kecil di dalam laboratorium. Tanah tercemar diletakkan di dalam wadah, di mana kondisi lingkungan diusahakan sedemikian rupa mendekati kondisi lapangan. Wadah yang digunakan memiliki dimensi 30cm x 30cm x 8cm dengan bahan dasar

plastik, sedangkan bioremediasi yang dilakukan di lapangan didesain khusus sesuai dengan kriteria desain bioremediasi dengan teknik *landfarming*. Berikut ini adalah berbagai perbedaan desain site pada bioremediasi yang dilakukan selama penelitian dan bioremediasi di lapangan:

- Lapisan dasar

Bioremediasi pada penelitian tidak memiliki berbagai lapisan dasar seperti pasir, lempung, maupun perbedaan kemiringan seperti yang terdapat pada bioremediasi di lapangan. Lapisan dasar ini berfungsi untuk menghindari kelebihan kandungan air jika terjadi hujan, sehingga tidak mengganggu kehidupan mikroorganisme. Pada penelitian kandungan air jauh lebih mudah dikontrol karena dilakukan di dalam ruangan dan tidak terpengaruh oleh hujan dan faktor cuaca lainnya, sehingga tidak diperlukan adanya lapisan dasar seperti yang harus ada di lapangan.

- Metode *landfarming*

Perbedaan pada metode *landfarming* yang dilakukan terletak pada kedalaman tanah tercemar. Menurut kriteria desain, kedalaman tanah pada *site* bioremediasi tidak boleh lebih dari 50 cm, sedangkan kedalaman tanah pada saat penelitian hanya sekitar 8 cm. Kedalaman tanah tidak boleh terlalu besar karena akan berpengaruh pada ketersediaan oksigen dan aerasi, kandungan air, dan keberlangsungan hidup mikroorganisme. Semakin kecil kedalaman tanah maka semakin baik proses bioremediasi yang berlangsung, namun luas yang diperlukan juga semakin besar. Kedalaman tanah pada saat penelitian dibatasi oleh ketersediaan wadah dan alat yang digunakan untuk pengadukan. Kedalaman tanah pada bioremediasi di lapangan adalah sekitar 30 cm, karena alat *tilling* yang digunakan berupa traktor dengan alat pengeruk yang cukup lebar maka hal ini tidak menimbulkan masalah. Selama proses pengadukan rutin dilakukan maka pemerataan kandungan

air dan kebutuhan mikroorganisme terhadap oksigen akan tetap terpenuhi.

- Sistem drainase

Pada penelitian di laboratorium tidak didesain adanya sistem drainase pada masing – masing wadah. Sistem drainase berfungsi untuk mengalirkan air pada saat terjadi hujan sehingga tidak menggenang atau menyebabkan kandungan air yang berlebihan pada tanah sehingga mengganggu proses biodegradasi pada mikroorganisme. Karena penelitian dilakukan di dalam ruangan dan tidak terpengaruh terhadap cuaca, maka kelembaban tanah jauh lebih mudah dikontrol dan sistem drainase tidak diperlukan.

Kondisi penelitian di laboratorium disesuaikan sedemikian rupa dengan kondisi di lapangan. Namun hampir semua penelitian laboratorium yang pernah dilakukan tetap tidak dapat mensimulasikan dengan baik perubahan kondisi yang terjadi secara konstan seperti yang ditemui di lapangan. Dalam banyak kasus, variasi yang terjadi pada kondisi penting suatu lahan tidak diketahui (*unknown*). Maka dari itu, hasil dari penelitian harus diinterpretasikan dengan cermat menggunakan perencanaan eksperimental maupun metode analitikal. Hal lain yang juga penting adalah melakukan penelitian dengan skala pilot (*pilot-scale study*) untuk menyempurnakan hasil dari penelitian di laboratorium. Pada beberapa kasus, penelitian laboratorium bahkan dapat digantikan sepenuhnya oleh penelitian *pilot-scale*.

BAB 6 PENUTUP

6.1 KESIMPULAN

Setelah dilakukan analisis penelitian maka didapatkan beberapa kesimpulan penelitian yaitu sebagai berikut:

1. Kinerja surfaktan Sodium *Laureth Sulphate* (SLS) lebih baik daripada surfaktan *Linear Alkyl Benzene Sulphonic Acid* (LABSA) dalam membantu proses bioremediasi. Penambahan surfaktan SLS menghasilkan penurunan kandungan TPH hingga 64,41%, lebih besar dibandingkan dengan penambahan surfaktan LABSA yang menghasilkan penurunan kandungan TPH sebesar 58,56% atau bioremediasi tanpa ada penambahan surfaktan yang hanya sebesar 38,14%.
2. Kelebihan dan kekurangan dari surfaktan SLS maupun surfaktan LABSA dapat dilihat pada tabel berikut.

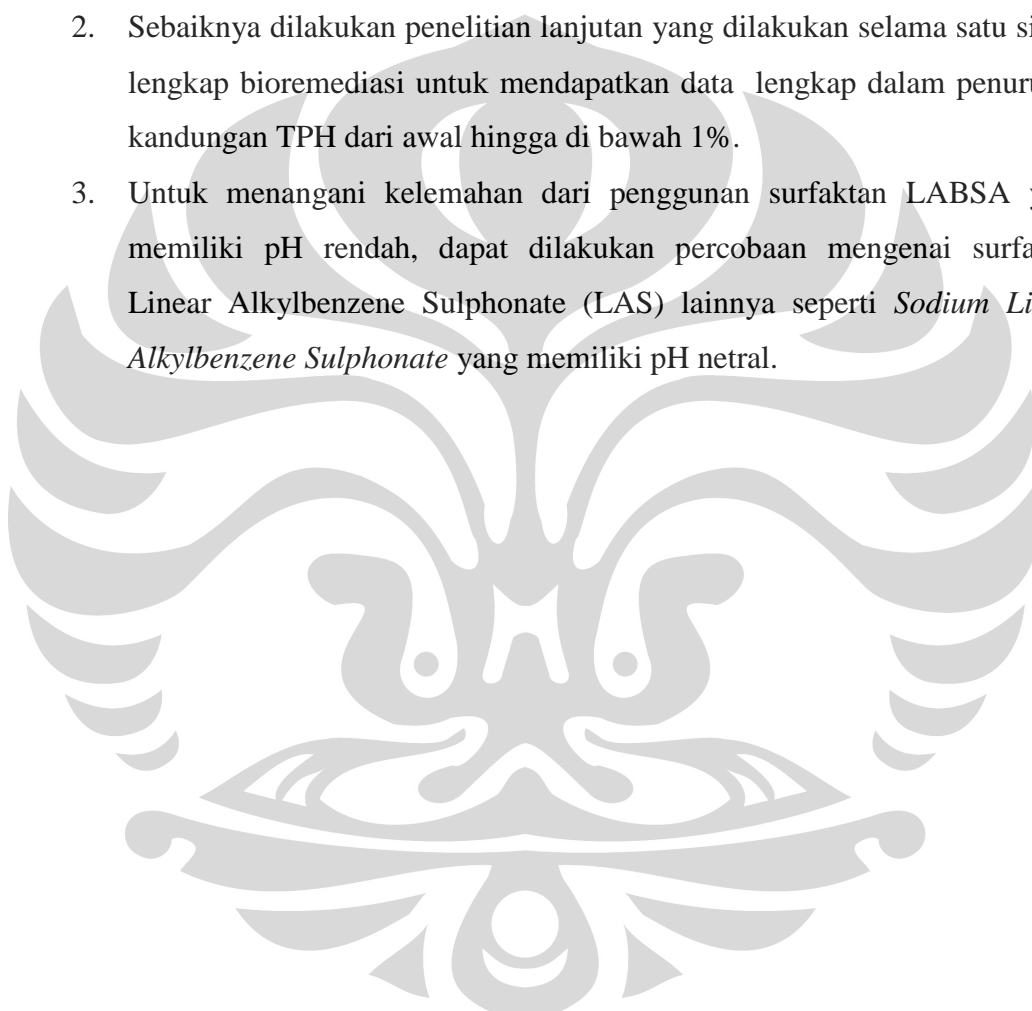
Tabel 6.1. Kelebihan dan Kekurangan Surfaktan LABSA dan Surfaktan SLS.

	Surfaktan LABSA	Surfaktan SLS
Dari segi operasi	Homogenisasi lebih mudah karena berbentuk cair	Homogenisasi lebih sulit karena berbentuk pasta
Dari segi monitoring	Memerlukan pengontrolan khusus terhadap pH tanah	Tidak memerlukan pengontrolan khusus terhadap pH tanah
Dari segi toksisitas & tingkat bahaya	<i>Health</i> (2), <i>Flammability</i> (0), <i>Reactivity</i> (0) * Dapat mengakibatkan iritasi pada mata, kulit, dan gangguan pernapasan.	<i>Health</i> (3), <i>Flammability</i> (1), <i>Reactivity</i> (0) ** Dapat mengakibatkan iritasi pada mata, kulit, dan gangguan pernapasan.
Dari segi biaya/ekonomis	Rp. 31.093,88 / 1500 Kg tanah tercemar dengan asumsi TPH 12%	Rp. 31.968,88 / 1500 Kg tanah tercemar dengan asumsi TPH 12%

6.2 SARAN

Berikut ini adalah beberapa saran yang diajukan sehubungan dengan dilakukannya penelitian ini:

1. Untuk mendapatkan kondisi yang mendekati kondisi bioremediasi *eksisting*, sebaiknya dilakukan penelitian lanjutan dengan skala pilot (*pilot-scale study*) sehingga variasi yang disebabkan oleh cuaca dan lingkungan dapat diperhitungkan.
2. Sebaiknya dilakukan penelitian lanjutan yang dilakukan selama satu siklus lengkap bioremediasi untuk mendapatkan data lengkap dalam penurunan kandungan TPH dari awal hingga di bawah 1%.
3. Untuk menangani kelemahan dari penggunaan surfaktan LABSA yang memiliki pH rendah, dapat dilakukan percobaan mengenai surfaktan Linear Alkylbenzene Sulphonate (LAS) lainnya seperti *Sodium Linear Alkylbenzene Sulphonate* yang memiliki pH netral.



DAFTAR REFERENSI

- Alexander, Martin. *Biodegradation and Bioremediation*. 1994. San Diego: Academic Press.
- Arbianti, et al. Pengaruh *Kondisi Reaksi Hidrogenasi Metil Laurat Terhadap Aktivitas Dari Surfaktan Berbahan Baku Minyak Kelapa*. 2008. Depok: Departemen Teknik Kimia Universitas Indonesia.
- Baker, Katherine H. dan Diane S. Herson. *Bioremediation*. 1994. New York: McGraw-Hill.
- Dutta, Subijoy. *Environmental Treatment Technologies for Hazardous and Medical Wastes*. 2002. New Delhi: McGraw-Hill.
- Eweis, et al. *Bioremediation Principles*. 1998. New York: McGraw-Hill.
- Fessenden, Ralp J & Joan S. Fessenden. *Kimia Organik Edisi III Jilid 2*. 1999. Jakarta: Erlangga.
- Freeman, Harry M. *Standard Handbook of Hazardous Waste Treatment and Disposal*. 1989. McGraw-Hill Inc.
- Instruksi Kerja Cara Pengambilan Contoh Uji Tanah di Lingkungan. 2006. Laboratorium Pengendalian Dampak Lingkungan.
- Instruksi Kerja Penentuan Senyawa Organik Mudah Menguap (VOCs) Dalam Air Dengan Kromatografi Gas Detektor Spektrofotometer Massa (KG-DSM). 2004. Laboratorium Pengendalian Dampak Lingkungan.
- Nemerow, N.L., & Dasgupta, A., *Industrial and Hazardous Waste Treatment*. New York: Van Nostrand Reinhold.

- Nugroho, Astri. *Bioremediasi Hidrokarbon Minyak Bumi*. 2006. Jakarta: Graha Ilmu.
- Permana, Danar. *Pengolahan Limbah Cair yang Mengandung Amonia Dengan Menggunakan Zeolit Alam Lampung Sebagai Bahan Pengikat Dengan Metode Flotasi Udara: Studi Kasus Pengaruh pH, Koagulan PAC, dan Surfaktan SLS*. 2008. Depok: Universitas Indonesia.
- Singh, Ajay & Owen P. Ward. *Biodegradation and Bioremediation*. 2004. Springer Berlin Heidelberg.
- Suardana, Putu. 2002. *Pengaruh Surfaktan Linear Alkylbenzena Sulfonat Dalam Mempercepat Bioremediasi Limbah Minyak Bumi (Studi Kasus: Pengelolaan Lingkungan di Lapangan Minyak Duri – PT Caltex Pacific Indonesia, Riau)*. Jakarta: Universitas Indonesia.
- Suryatmana P, Edwan K, Enny R dan Wisjnuprpto. 2004. *Karakteristik Bio-Surfaktan Dari Azotobacter Chroococcum*. Serpong: Kementrian Riset dan Teknologi RI.
- Sutharsan, Suthan S. dan Fred C. Payne. 2005. *In Situ Remediation Engineering*. Florida: CRC Press.
- Syakti, Agung D & Mohamad Yani. *Environmental Remediation Full-Scale Implementation: Back To Simple Microbial Massive Culture Approaches*. Jakarta: Makara, Teknologi, Vol. 13, No. 1, April 2009: 33-36.
- Wentz, Charles A. *Hazardous Waste Management*. 1989. Singapore: McGraw-Hill Book Co.

Zuhra, Cut F. *Penyulingan, Pemrosesan dan Penggunaan Minyak Bumi*. Medan: Universitas Sumatera Utara.

Hidayat, Nur (2008). *Khamir Genus Candida Untuk Bioremediasi Lingkungan Tercemar Hidrokarbon*. 2008. Diakses 14 Desember 2009.

<http://bioindustri.blogspot.com/2008/09/khamir-genus-candida-untuk-bioremediasi.html>

Agency for Toxic Substances and Disease Registry (1999). *Total Petroleum Hydrocarbons*. Diakses 26 Mei 2010.

<http://www.atsdr.cdc.gov/tfacts123.pdf>

Indiana Departement of Environmental Management (2006). *RISC Technical Guide Chapter 8*. Diakses 26 Mei 2010.

www.in.gov/idem/risctechch8.pdf

