



TUGAS AKHIR - RE 141581

**BIOREMEDIASI TANAH TERCEMAR MINYAK
DENGAN METODE *SOIL WASHING* DAN
BIOSTIMULASI**

**LUKMAN VYATRAWAN
NRP 3311 100 048**

**Dosen Pembimbing
BIEBY VOIJANT TANGAHU, S.T., M.T., PhD.**

**JURUSAN TEKNIK LINGKUNGAN
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2015**



FINAL PROJECT - RE 141581

BIOREMEDIATION OIL CONTAMINATED SOIL WITH SOIL WASHING AND BIOSTIMULATION METHODS

LUKMAN VYATRAWAN
NRP 3311 100 048

Dosen Pembimbing
BIEBY VOIJANT TANGAHU, S.T., M.T., PhD.

JURUSAN TEKNIK LINGKUNGAN
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2015

LEMBAR PENGESAHAN

BIOREMEDIASI TANAH TERCEMAR MINYAK DENGAN METODE SOIL WASHING DAN BIOSTIMULASI

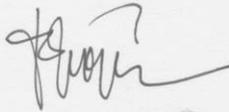
TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada
Program Studi S-1 Jurusan Teknik Lingkungan
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

Lukman Vyatrawan
NRP. 3311 100 048

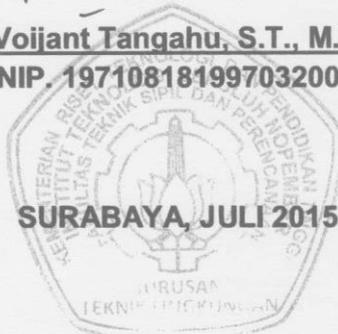
Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir :



Bieby Voiyant Tangahu, S.T., M.T., PhD.

NIP. 197108181997032001

SURABAYA, JULI 2015



BIOREMEDIASI TANAH TERCEMAR MINYAK DENGAN METODE *SOIL WASHING* DAN BIOSTIMULASI

Nama Mahasiswa : Lukman Vyatrawan
NRP : 3311 100 048
Dosen Pembimbing : Bieby Voijant Tangahu S.T., M.T., PhD.

ABSTRAK

Pencemaran minyak bumi pada tanah menjadi ancaman serius bagi kesehatan manusia. Minyak bumi dapat mencapai lokasi sumber air tanah sehingga dapat mencemari air tanah yang digunakan sebagai sumber utama kebutuhan air bersih. Senyawa hidrokarbon yang terkandung pada minyak bumi juga merupakan senyawa yang paling sulit diurai. Salah satu cara menanggulangi permasalahan ini adalah dengan bioremediasi, yaitu pemulihan kondisi lingkungan dengan memanfaatkan aktivitas biologis mikroorganisme untuk menurunkan kadar toksisitas dari senyawa pencemar.

Penelitian dilakukan dalam skala laboratorium selama 30 hari. Bioremediasi tanah tercemar minyak bumi menggunakan metode biostimulasi dengan pupuk NPK sebagai nutrisi. Sebelum dilakukan bioremediasi, dilakukan *pre-treatment* berupa *soil washing* dengan surfaktan tween-80 untuk menurunkan kandungan total petroleum hidrokarbon (TPH) sesuai dengan KEPMEN LH No 128 Tahun 2003. Variasi yang dilakukan adalah kadar pemberian pupuk NPK sebagai nutrisi ke dalam tanah tercemar (kontrol, 10%, dan 20%) serta penambahan kadar oksigen ke dalam sampel tanah (aerasi dan tanpa aerasi). Parameter yang diuji meliputi nilai TPH, suhu, pH serta total koloni mikroba yang terkandung sampel tanah tercemar.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa adanya *pre-treatment soil washing* dapat membantu menurunkan TPH hingga mencapai 4,55%. Pada bioremediasi dengan metode biostimulasi, hasil yang didapatkan menunjukkan bahwa penambahan nutrisi 20% menghasilkan tingkat degradasi TPH paling tinggi (turun hingga 4,23%) pada sampel tanah tercemar. Sedangkan pada penambahan aerasi, hasil uji statistik two-way anova menunjukkan adanya penambahan aerasi pada bioremediasi tidak berpengaruh signifikan terhadap hasil penurunan nilai TPH dikarenakan nilai sig > 0,05.

Kata Kunci : Bioremediasi, Biostimulasi, Minyak Bumi, Pencemaran Tanah, *Soil Washing*, TPH, Tween-80

BIOREMEDIATION OF OIL CONTAMINATED SOIL WITH SOIL WASHING AND BIOSTIMULATION METHODS

Student Name : Lukman Vyatrawan
NRP : 3311 100 048
Supervisor : Bieby Voijant Tangahu S.T., M.T., PhD.

ABSTRACT

Petroleum contamination in the soil pose a serious threat to human health. Petroleum is able to reach the location of groundwater resources that can contaminate groundwater used as a main source of clean water needs. Hydrocarbon compounds contained in the petroleum is also the most difficult to disentangle compound. One way of overcoming this problem is to bioremediation, which is the restoration of environmental conditions by utilizing the biological activity of microorganisms to reduce levels of toxicity of pollutant compounds.

The study was conducted in laboratory scale for 30 days. Bioremediation of petroleum-contaminated soil using a biostimulation method with NPK fertilizer as nutrient. Before to bioremediation, performed pre-treatment such as soil washing with a tween-80 surfactant to reduce the content of total petroleum hydrocarbons (TPH) in accordance with KEPMEN LH No 128 Tahun 2003. The variation of research is concentration NPK fertilizer nutrients in contaminated soil (control, 10%, and 20%) and increasing the oxygen levels in contaminated soil samples (aeration and without aeration). The parameters tested include TPH value, temperature, pH and total microbial colonies that contained at contaminated soil samples.

The results showed that the *pre-treatment of soil-washing* can help TPH lower up to 4.55%. In the bioremediation with biostimulation method, the results obtained showed that the addition of nutrients 20% produce the highest levels of TPH degradation (down to 4.23%) in contaminated soil samples. While the addition of aeration, the statistical test ANOVA two-way showed the addition of aeration at bioremediation no significant effect on the results of impairment TPH because significant value > 0.05 .

Keywords : Bioremediation, Biostimulation, Petroleum, Soil Pollution, *Soil Washing*, TPH, Tween-80

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Allah SWT karena atas limpahan rahmat serta hidayah dari-Nya, penyusun dapat menyelesaikan laporan tugas akhir ini dengan tepat waktu. Tugas akhir berjudul **“Bioremediasi Tanah Tercemar Minyak dengan Metode Soil Washing dan Biostimulasi”** dibuat sebagai persyaratan kelulusan program studi sarjana pada Jurusan Teknik Lingkungan Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya. Dalam proses penyusunan laporan tugas akhir ini, penyusun menyampaikan banyak terima kasih kepada :

1. Ibu Bieby Voijant Tangahu, S.T, M.T, PhD. selaku dosen pembimbing yang telah banyak membantu memberikan arahan dan saran terhadap penyelesaian laporan tugas akhir ini.
2. Bapak Prof. Dr. Ir. Sarwoko Mangkoedihardjo, M.ScES. dan Ibu Ipung Fitri Purwanti, S.T, M.T, PhD. selaku dosen penguji yang telah banyak memberikan saran dan masukan untuk membenaran laporan tugas akhir ini.
3. Ibu Prof. Dr. Ir. Nieke Karnaningroem, M.Sc. selaku dosen wali penyusun selama menempuh pendidikan sarjana di Teknik Lingkungan ITS.
4. Bapak Ir. Eddy Setiadi Soedjono, Dipl.SE., M.Sc., PhD. selaku ketua jurusan Teknik Lingkungan ITS serta Bapak Arseto Yekti Bagastyo, S.T, M.T, M.Phil., PhD. selaku koordinator tugas akhir.
5. Kedua orang tua dan kakak atas doa, nasehat dan dukungan yang selalu diberikan kepada penyusun.
6. Pak Hadi, Pak Edi, Mba lin, dan Mba Merry selaku laboran pada laboratorium tempat penyusun melaksanakan penelitian.
7. Eko Pamungkas, yang telah membantu penyusun dalam analisa total koloni mikroba.
8. Teman-teman angkatan 2011, terutama teman-teman Laboratorium Sanitasi Lingkungan dan Fitoteknologi yang saling mendukung satu sama lain selama 4 tahun perkuliahan ini.

Penyusunan laporan tugas akhir ini telah dibuat dengan usaha yang maksimal. Saran dan kritik yang membangun masih dibutuhkan penyusun apabila masih terdapat kekurangan pada dokumen ini, sehingga ke depannya dapat menjadi acuan yang lebih baik. Sekian terima kasih.

Surabaya, 17 Juni 2015

Penyusun

DAFTAR ISI

ABSTRAK.....	i
ABSTRACT	iii
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR GAMBAR	ix
DAFTAR TABEL	xi
DAFTAR LAMPIRAN	xiii
BAB I.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Manfaat Penelitian	3
1.5 Ruang Lingkup.....	3
BAB II.....	5
2.1 Pencemaran Tanah.....	5
2.2 Minyak Bumi	5
2.3 Minyak Pelumas (Oli)	7
2.4 Pengertian <i>Soil Washing</i>	9
2.5 Pengertian Bioremediasi	10
2.6 Teknik Proses Bioremediasi	11
2.7 Faktor-Faktor yang Berpengaruh pada Proses Bioremediasi	12
2.8 Mikroorganisme Pendegradasi Minyak	14
2.9 Total Petroleum Hidrokarbon (TPH).....	16
BAB III.....	19
3.1 Umum.....	19
3.2 Kerangka Penelitian	19
3.3 Studi Literatur.....	20
3.4 Penentuan Variabel dan Parameter Penelitian.....	21

3.5	Persiapan Alat dan Bahan.....	22
3.6	Pelaksanaan Penelitian.....	24
3.7	Analisis Data dan Pembahasan.....	28
3.8	Kesimpulan dan Saran.....	28
BAB IV	29
4.1	Pelaksanaan <i>Soil Washing</i>	29
4.1.1	Analisa Total Petroleum Hidrokarbon (TPH) Awal..	29
4.1.2	Hasil Analisa Total Petroleum Hidrokarbon (TPH) setelah Proses <i>Soil Washing</i>	29
4.2	Pelaksanaan Bioremediasi.....	32
4.2.1	Hasil Analisa Parameter TPH pada Bioremediasi ..	33
4.2.2	Hasil Analisa Parameter pH pada Bioremediasi	38
4.2.3	Hasil Analisa Parameter Suhu pada Bioremediasi ..	38
4.2.4	Hasil Analisa Parameter Total Koloni Mikroba pada Bioremediasi	40
BAB V	45
5.1	Kesimpulan	45
5.2	Saran.....	45
DAFTAR PUSTAKA	45
LAMPIRAN	51

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Hubungan antara Produk Turunan Minyak Bumi, Konstituen, dan Kemampuan Terbiodegradasi	8
Tabel 3. 1 Variasi Perlakuan Penelitian	22
Tabel 3. 2 Variasi Penelitian Pendahuluan	27
Tabel 4. 1 Hasil Perhitungan Total Koloni Mikroba Awal Bioremediasi.....	41
Tabel 4. 2 Hasil Perhitungan Total Koloni Mikroba Akhir Bioremediasi pada Variasi Non Aerasi	42
Tabel 4. 3 Hasil Perhitungan Total Koloni Mikroba Akhir Bioremediasi pada Variasi Aerasi.....	43

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Contoh Reaksi Degradasi Hidrokarbon Alifatik	16
Gambar 3. 1 Kerangka Penelitian.....	20
Gambar 3. 2 Variabel Penelitian Utama.....	22
Gambar 3. 3 Pasir Bangunan yang Telah Dijemur dan Diayak...24	
Gambar 3. 4 Proses Penimbangan dan Pencampuran Tanah dengan Minyak.....	25
Gambar 3. 5 Perubahan Warna Tanah Sebelum dan Sesudah Dicampur dengan Minyak.....	25
Gambar 4. 1 Perbandingan Nilai Total Petroleum Hidrokarbon (TPH) pada Pencucian Awal.....	31
Gambar 4. 2 Perbandingan Nilai Total Petroleum Hidrokarbon (TPH) pada Pencucian Ulang	31
Gambar 4. 3 Nilai Parameter Total Petroleum Hidrokarbon (TPH) pada Variasi Non-Aerasi selama Proses Bioremediasi	33
Gambar 4. 4 Nilai Parameter Total Petroleum Hidrokarbon (TPH) pada Variasi Aerasi selama Proses Bioremediasi	34
Gambar 4. 5 Nilai Parameter Total Petroleum Hidrokarbon (TPH) pada Variasi Penambahan Nutrien 0% selama Proses Bioremediasi	35
Gambar 4. 6 Nilai Parameter Total Petroleum Hidrokarbon (TPH) pada Variasi Penambahan Nutrien 10% selama Proses Bioremediasi	35
Gambar 4. 7 Nilai Parameter Total Petroleum Hidrokarbon (TPH) pada Variasi Penambahan Nutrien 20% selama Proses Bioremediasi	36
Gambar 4. 8 Nilai Parameter Suhu pada Variasi Penambahan Nutrien 0% selama Proses Bioremediasi	39
Gambar 4. 9 Nilai Parameter Suhu pada Variasi Penambahan Nutrien 10% selama Proses Bioremediasi	39
Gambar 4. 10 Nilai Parameter Suhu pada Variasi Penambahan Nutrien 20% selama Proses Bioremediasi.....	40

DAFTAR LAMPIRAN

LAMPIRAN 1 : DOKUMENTASI PENELITIAN.....	51
LAMPIRAN 2 : ANALISA TOTAL PETROLEUM HIDROKARBON (TPH) DENGAN METODE GRAVIMETRI.....	55
LAMPIRAN 3 : SOIL WASHING DENGAN METODE JARTEST	59
LAMPIRAN 4 : PERHITUNGAN TOTAL KOLONI MIKROBA DENGAN METODE PLATE COUNT	63
LAMPIRAN 5 : DATA HASIL ANALISIS DAN PERHITUNGAN ..	69
LAMPIRAN 6 : DATA HASIL UJI STATISTIK ONE-WAY ANOVA	77

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pencemaran minyak bumi pada tanah merupakan ancaman serius bagi kesehatan manusia. Minyak bumi yang mencemari tanah dapat mencapai lokasi air tanah, danau atau sumber air yang menyediakan air bagi kebutuhan domestik maupun industri sehingga menjadi masalah serius bagi daerah yang mengandalkan air tanah sebagai sumber utama kebutuhan air bersih (Atlas dan Bartha, 1985). Salah satu kontaminan minyak yang sulit diurai adalah senyawa hidrokarbon. Ketika senyawa tersebut mencemari permukaan tanah, maka zat tersebut dapat menguap, tersapu air hujan, dan masuk ke dalam tanah kemudian terendap sebagai zat beracun. Akibatnya dapat mengganggu ekosistem tanah dan siklus air (Karwati, 2009).

Secara alamiah lingkungan sebenarnya sudah mempunyai kemampuan untuk mendegradasi senyawa pencemar yang masuk ke dalamnya melalui proses biologis dan kimiawi, tetapi seringkali beban pencemaran di lingkungan lebih besar dibanding dengan kecepatan proses degradasi zat pencemar tersebut secara alami. Akibatnya, zat pencemar akan terakumulasi sehingga dibutuhkan campur tangan manusia dengan teknologi yang ada untuk mengatasi pencemaran tersebut (Nugroho, 2006). Untuk menanggulangi masalah pencemaran minyak pada tanah, terdapat beberapa cara yang dapat dilakukan. Salah satu cara yang cukup menjanjikan adalah dengan bioremediasi.

Menurut Madigan *et al.* (2009), Bioremediasi merupakan upaya pemulihan kondisi lingkungan dengan menggunakan aktivitas biologis mikroba untuk mendegradasi dan menurunkan toksisitas dari berbagai senyawa pencemar. Hal ini dikarenakan dalam mengatasi permasalahan lingkungan yang sama, bioremediasi diketahui lebih efektif dari segi pembiayaan dibandingkan dengan penerapan teknologi lainnya seperti insinerasi dan *containment* (Cookson, 1995).

Banyak faktor yang dapat mempengaruhi keberhasilan bioremediasi. Faktor lingkungan yang paling penting pada bioremediasi diantaranya adalah kelembaban, pH, dan suhu (Cookson, 1995). Penambahan nutrisi diketahui dapat

meningkatkan aktivitas dari mikroorganisme *indigenous*, termasuk organisme pendegradasi hidrokarbon. Penambahan nutrisi pada dua *treatment* (biostimulasi serta kombinasi bioaugmentasi-biostimulasi) telah berkontribusi terhadap peningkatan degradasi hidrokarbon yang akan terlihat dalam tiga minggu pertama proses inkubasi (Makadia *et al.*, 2011). Perlakuan dengan media teraerasi juga akan menghasilkan persen biodegradasi TPH yang lebih tinggi dibandingkan media tanpa aerasi, dimana pada media yang diaerasi menghasilkan tingkat biodegradasi TPH akhir sebesar 100% dan media tanpa aerasi sebesar 79,6 % (Yulia dkk., 2013).

Ada dua pendekatan yang dapat digunakan dalam bioremediasi tumpahan minyak : (1) bioaugmentasi, dimana mikroorganisme pengurai ditambahkan untuk melengkapi populasi mikroba yang telah ada, dan (2) biostimulasi, dimana pertumbuhan pengurai hidrokarbon asli dirangsang dengan cara menambahkan nutrisi atau mengubah habitat (Zhu *et al.*, 2001).

Sebelumnya telah dilakukan penelitian oleh Zhyahrial dkk. (2014) tentang bioremediasi tanah tercemar minyak bumi dengan teknik biostimulasi menggunakan kompos kombinasi. Pada penelitian tersebut didapatkan hasil efisiensi penurunan total petroleum hidrokarbon (TPH) mencapai 77,3% selama 30 hari. Melihat hasil penelitian tersebut, pada penelitian ini akan dilakukan bioremediasi dengan metode biostimulasi menggunakan nutrisi lain (pupuk NPK) untuk menganalisis bagaimana kemampuan mikroorganisme asli tanah dalam mendegradasi kadar TPH pada tanah yang tercemar.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah pada penelitian ini adalah :

- a. Bagaimana pengaruh adanya perlakuan *pre-treatment soil washing* terhadap penurunan kadar TPH (Total Petroleum Hidrokarbon) dalam tanah?
- b. Bagaimana pengaruh penambahan nutrisi terhadap penurunan kadar TPH (Total Petroleum Hidrokarbon) pada proses bioremediasi?
- c. Bagaimana pengaruh penambahan kadar oksigen terhadap penurunan kadar TPH (Total Petroleum Hidrokarbon) pada proses bioremediasi?

1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah yang telah dikemukakan, maka tujuan penelitian ini adalah :

- a. Mengetahui optimasi perlakuan *pre-treatment soil washing* terhadap penurunan kadar TPH (Total Petroleum Hidrokarbon) dalam tanah.
- b. Mengetahui pengaruh penambahan nutrisi terhadap penurunan kadar TPH (Total Petroleum Hidrokarbon) pada proses bioremediasi.
- c. Mengetahui pengaruh penambahan kadar oksigen terhadap penurunan kadar TPH (Total Petroleum Hidrokarbon) pada proses bioremediasi.

1.4 Manfaat Penelitian

Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat dan kegunaan sebagai berikut :

- a. Diperoleh informasi tentang metode yang paling baik dalam pemulihan tanah tercemar minyak secara biologis.
- b. Dapat digunakan sebagai salah satu upaya pemulihan lingkungan hidup dari pencemaran khususnya pencemaran tanah.

1.5 Ruang Lingkup

Berdasarkan rumusan masalah yang telah dikemukakan, maka tujuan penelitian ini adalah :

- a. Bioremediasi dilakukan tanpa penambahan mikroba, menggunakan mikroba asli tanah (biostimulasi)
- b. Nutrien yang digunakan adalah pupuk NPK
- c. Penelitian utama dilakukan dalam skala laboratorium selama 30 hari.
- d. Tanah tencemar minyak berupa *spiked soil* dengan pencemar oli motor
- e. Penelitian pendahuluan berupa *pre-treatment soil washing* menggunakan surfaktan tween-80.
- f. Parameter yang diukur adalah kadar minyak dalam tanah (TPH), pH, suhu, dan total koloni mikroba
- g. Pengukuran TPH dengan metode gravimetri
- h. Pengukuran pH menggunakan pH meter

- i. Pengukuran suhu menggunakan termometer
- j. Pengukuran total koloni mikroba dengan metode *total plate count* (TPC)
- k. Variabel yang digunakan adalah :
 - Penambahan kadar oksigen pada media (aerasi dan tanpa aerasi)
 - Penambahan nutrisi pada media (kontrol, 10%, dan 20%)

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pencemaran Tanah

Tanah sangat penting bagi kehidupan manusia dan makhluk hidup lainnya sehingga fungsi dari tanah tidak akan dapat digantikan dengan yang lainnya. Hampir seluruh kegiatan yang dilakukan manusia dilakukan diatas tanah, mulai dari tempat tinggal, pertanian, industri dan aktivitas lainnya (Achmad, 2004).

Menurut Palar (2008), yang dimaksud dengan pencemaran adalah suatu kondisi yang telah berubah dari kondisi asal menuju kondisi yang lebih buruk sebagai akibat masukan dari bahan-bahan pencemar atau polutan. Suatu lingkungan dikatakan tercemar apabila telah terjadi perubahan-perubahan dalam tatanan lingkungan sehingga tidak sama lagi dengan bentuk asalnya, sebagai akibat masuknya atau dimasukkannya suatu zat atau benda asing ke dalam tatanan lingkungan. Perubahan ini memberikan dampak buruk terhadap organisme yang hidup dalam tatanan tersebut. Pada tingkat lanjut, perubahan ini juga dapat membunuh bahkan menghapuskan satu atau lebih organisme.

Menurut Manik (2003), Pencemaran tanah adalah masuknya bahan atau zat atau unsur lain ke dalam tanah sehingga konsentrasi suatu zat atau unsur hara tersebut menjadi racun bagi tanaman serta mengganggu ekosistem biota tanah. Dengan tercemarnya tanah tersebut, maka tanah tidak dapat berfungsi sebagaimana peruntukannya.

Tanah yang telah tercemar dapat mengakibatkan kerugian yang besar bagi manusia. Kerugian ini dapat berupa air yang berada dalam tanah menjadi tidak bermanfaat lagi untuk keperluan industri dan pertanian. Selain itu, tanah yang tercemar dapat menjadi penyebab timbulnya penyakit baik penyakit menular maupun tidak menular (Wardhana, 2001).

2.2 Minyak Bumi

Minyak bumi adalah suatu campuran yang sangat kompleks terdiri dari senyawa-senyawa hidrokarbon, yaitu senyawa-senyawa organik di mana setiap molekulnya hanya mempunyai unsur karbon dan hidrogen saja. kandungan air dan

garam hampir selalu ada pada minyak bumi dalam keadaan terdispersi (Hardjono, 2000). Minyak mentah dan minyak olahan tersebut adalah senyawa kompleks hidrokarbon yang mempunyai ribuan variasi senyawa (Mangkoedihardjo, 2005). Menurut Udiharto (1999), senyawa hidrokarbon minyak bumi yang didegradasi oleh mikroorganisme secara garis besar dapat digolongkan atas tiga kelompok, yaitu hidrokarbon parafin, naftena dan aromatik.

- Senyawa parafin atau alkana merupakan senyawa hidrokarbon jenuh terdiri dari normal parafin berupa rantai karbon panjang dan lurus, serta isoparafin berupa rantai karbon bercabang. Isoparafin banyak didominasi oleh yang bercabang satu sedangkan normal parafin banyak terdapat dalam fraksi ringan. Alkana mempunyai rumus C_nH_{2n+2} dan tidak memiliki ikatan rangkap antar karbon penyusunnya. Senyawa ini merupakan fraksi terbesar dalam minyak bumi.
- Naftena dicirikan oleh adanya struktur cincin tertutup yang sederhana dari atom karbon penyusunnya, dengan rumus umum C_nH_{2n} dan tidak mempunyai ikatan rangkap antar atom karbon. Senyawa ini tidak larut dalam air dan merupakan fraksi kedua terbesar dalam minyak bumi.
- Aromatik, dicirikan oleh adanya cincin yang mengandung enam atom karbon. Benzen adalah senyawa aromatik yang paling sederhana dan pada umumnya senyawa aromatik dibentuk dari senyawa benzen.

Komposisi senyawa hidrokarbon pada minyak bumi tidak sama, bergantung pada sumber penghasil minyak bumi tersebut. Minyak bumi yang terdapat di Indonesia banyak mengandung senyawa aromatik dengan kadar belerang yang sangat rendah (Hadi, 2003).

Dengan adanya proses kimia dan fisika terlebih dahulu, minyak bumi ini dapat diubah menjadi berbagai produk atau senyawa turunan minyak bumi, diantaranya adalah gas LPG, bensin, kerosin, minyak diesel ringan, minyak diesel berat, hingga pelumas (Nugroho, 2006). Pada proses pembuatannya, alkana dengan jumlah atom karbon rendah (1 sampai 4) akan diproduksi sebagai elpiji (LPG). Alkana dari pentana (C_5H_{12}) sampai oktana

(C_8H_{18}) akan disuling menjadi bensin, alkana jenis nonana (C_9H_{20}) sampai heksadkana ($C_{16}H_{34}$) akan disuling menjadi diesel, kerosin dan bahan bakar jet. Sedangkan pelumas merupakan alkana rantai normal dan bercabang, bersuhu tinggi, serta mempunyai jumlah atom karbon tiap molekulnya cukup besar, yaitu berkisar C_{16} ke atas.

Berdasarkan PP No 85 Tahun 1999 tentang pengelolaan limbah bahan berbahaya dan beracun, limbah oli bekas dikategorikan sebagai limbah bahan berbahaya dan beracun (B3). Dalam jurnalnya, Nugroho (2006) juga menyatakan bahwa pencemaran minyak bumi pada tanah meskipun dalam konsentrasi hidrokarbon yang sangat rendah akan mempengaruhi bau dan rasa air tanah.

2.3 Minyak Pelumas (Oli)

Sejalan dengan perkembangan kota dan daerah, volume oli bekas terus meningkat seiring dengan pertambahan jumlah kendaraan bermotor dan mesin-mesin bermotor. Oli merupakan salah satu produk turunan minyak bumi yang juga berpotensi untuk mencemari lingkungan. Oli mengandung sejumlah zat yang dapat mengotori udara, tanah maupun air. Oli bekas dapat menyebabkan tanah sakit dan kehilangan unsur hara. Sifatnya yang tidak mudah larut dalam air juga dapat membahayakan habitat air (Sinaga, 2013)

Meskipun oli bekas masih dapat dimanfaatkan kembali, apabila tidak ditangani dengan baik dapat membahayakan lingkungan sekitarnya. Penanganan oli bekas yang dilakukan dengan baik dapat memberikan keuntungan bagi pengelola oli bekas dan juga bagi industri untuk mengurangi biaya produksi dengan cara memanfaatkan kembali oli bekas sebagai pelumas untuk berbagai peralatan. Karena pada dasarnya oli bekas memang masih dapat dimanfaatkan kembali untuk pelumas dengan cara pemakaian yang berbeda dari sebelumnya.

Beberapa kasus pencemaran yang disebabkan oleh oli juga pernah terjadi di Indonesia, diantaranya adalah meledaknya tangki penyimpanan oli bekas milik PT. Drydoks Pertama yang terjadi pada 13 Oktober 2012. Kejadian tersebut menyebabkan limbah oli bekas mencemari perairan Tanjungguncang di Kepulauan Riau. Kasus lain yang pernah terjadi yaitu kasus

pencemaran limbah oli dan solar dari Hotel Radja di Samarinda. Pada bulan Juli 2012, penampungan oli yang berasal dari generator Hotel Radja mengalami kebocoran dan mencemari sumur-sumur yang menjadi sumber air bersih dari warga yang tinggal di pemukiman sekitar hotel tersebut (Antaraneews dan Tribunnews, 2012).

Kasus berikutnya adalah pada tanggal 11 April 2013, 22.000 liter oli bekas tumpah di Jalan Tol Tangerang-Jakarta KM 21-19. Hal ini disebabkan alas bak dari truk pengangkut oli bekas tersebut bocor sehingga menyebabkan oli tumpah ke jalan jalan. Tumpahan Oli ini juga mengalir ke gorong gorong hingga mencemari Sungai Cisadane (Merdeka, 2013).

Tabel 2. 1 Hubungan antara Produk Turunan Minyak Bumi, Konstituen, dan Kemampuan Terbiodegradasi

Kemampuan terbiodegradasi	Konstituen	Produk pada konstituen
Mudah terdegradasi  Sulit terdegradasi	n-butana, I-pentana, n-oktana, nonana	Bensin, diesel
	Metil butana, dimetilpentana, metiloktana	Bensin
	Benzene, toluene, etil benzene, xylene	Bensin
	Propil Benzena	Diesel, kerosin
	Decana	Diesel
	Dodecana	Kerosin
	Tridecana	Heating fuels
	Tetradecana	Minyak pelumas
	Napthalene	Diesel
	Flourantenes	Kerosin
	Pyrenes	Heating oil
	Acnapthenes	Minyak pelumas

(Sumber : EPA, 1999)

Pada Tabel 2.1 diperlihatkan bahwa semakin rendah produk turunan dari minyak bumi maka semakin sulit untuk didegradasi. Fraksi hidrokarbon yang ringan ($C < 14$) dapat hilang

melalui penguapan sederhana selama prosedur bakteriologis normal meninggalkan fraksi-fraksi alifatik dan aromatik yang dapat digunakan oleh mikroba.

Salah satu alternatif penanggulangan lingkungan tercemar minyak bumi yang dapat diterapkan salah satunya yaitu dengan teknik bioremediasi. Bioremediasi merupakan suatu teknologi yang ramah lingkungan, efektif dan ekonomis dengan memanfaatkan aktivitas mikroba seperti bakteri. Melalui teknologi ini diharapkan minyak buangan yang ada dapat direduksi dan mendapat produk samping dari aktivitas tersebut (Udiharto *et al*, 1995).

2.4 Pengertian Soil Washing

Soil washing atau pencucian tanah umumnya pengolahan yang digunakan untuk tanah yang terkontaminasi dengan cara pemisahan fraksi yang paling terkontaminasi pada tanah (Deshpande *et al.*, 1999). Proses ini bekerja dengan cara melarutkan atau menanggulihkan kontaminan dalam larutan pencuci.

Dalam KEPMEN LH No 128 Tahun 2003 tentang tata cara persyaratan teknis pengolahan limbah minyak bumi dan tanah terkontaminasi oleh minyak bumi secara biologis, dikatakan bahwa konsentrasi total petroleum hidrokarbon (TPH) maksimum yang diijinkan untuk mengolah tanah tercemar dengan bioremediasi adalah sebesar 15%. Jika terdapat konsentrasi hidrokarbon minyak bumi melebihi 15%, maka perlu dilakukan pengolahan awal atau pemanfaatan terlebih dahulu. *Soil washing* dapat menjadi salah satu pengolahan awal (*pre-treatment*) untuk menurunkan tingkat pencemar hidrokarbon hingga mencapai 15% sehingga dapat dilakukan pengolahan biologis yang dimaksud yaitu bioremediasi.

Berbagai zat aktif permukaan, diantaranya zat-zat biosurfaktan sebagai larutan pencuci, telah banyak dikembangkan untuk mendapatkan proses pencucian yang lebih efektif (Desrina, 2012). Hasil penelitian yang telah dilakukan Urum dan Pekdemir (2004) menunjukkan bahwa biosurfaktan mampu menghapus sebagian besar minyak mentah dari tanah yang terkontaminasi bergantung pada konsentrasi cairan yang digunakan.

Surfaktan sintesis (kimia) pada dasarnya juga memberikan efek sama dengan biosurfaktan yang telah banyak dipelajari pula. Penggunaan surfaktan sintesis biasanya dalam industri makanan, farmasi, dan industri perminyakan. Surfaktan kimia mempunyai kemampuan untuk mengemulsi komponen-komponen yang mempunyai kelarutan rendah (Singh, 2006).

2.5 Pengertian Bioremediasi

Bioremediasi merupakan suatu upaya pemulihan kondisi lingkungan dengan menggunakan aktivitas biologis mikroba untuk mendegradasi dan menurunkan toksisitas dari berbagai senyawa pencemar (Madigan *et al*, 2009). Sedangkan menurut lampiran KEPMEN LH No 128 Tahun 2003 Bioremediasi adalah proses pengolahan limbah minyak bumi yang sudah lama atau tumpahan/ceceran minyak pada lahan terkontaminasi dengan memanfaatkan makhluk hidup termasuk mikroorganisme, tumbuhan, atau organisme lain untuk mengurangi konsentrasi atau menghilangkan daya racun bahan pencemar.

Pengolahan dengan metode biologis dapat juga disebut bioremediasi, yaitu bioteknologi yang memanfaatkan makhluk hidup, khususnya mikroorganisme untuk menurunkan konsentrasi atau daya racun dari bahan pencemar. Karwati (2009) mengatakan bahwa bioremediasi memiliki konsep dasar daur ulang seluruh material organik. Bakteri pengurai spesifik diisolasi dengan menebarkannya pada daerah yang terkontaminasi dan dengan menambahkan nutrisi agar dapat mempercepat penurunan polutan.

Proses bioremediasi ini dapat terjadi secara alamiah oleh mikroba yang terdapat pada lingkungan tercemar (*intrinsic bioremediation*). Seringkali juga dilakukan beberapa hal untuk mempercepat proses tersebut, contohnya dengan penambahan mikroba (*exogenous microbe*), nutrisi, donor dan/atau akseptor elektron. Bioremediasi sendiri merupakan optimasi dari proses biodegradasi, dimana proses biodegradasi umumnya akan menghasilkan karbondioksida dan metana yang kurang berbahaya dibanding minyak pada besaran konsentrasi yang sama (Mangkoedihardjo, 2005).

Teknologi proses bioremediasi dipilih karena cukup potensial untuk diterapkan di Indonesia. Kondisi iklim tropis

dengan sinar matahari, kelembaban yang tinggi serta keanekaragaman mikroorganisme yang tinggi sangat mendukung percepatan proses pertumbuhan mikroba untuk aktif mendegradasi minyak (Hafiluddin, 2011). Selain itu, teknik bioremediasi memiliki beberapa kelebihan diantaranya adalah biaya lebih murah, sederhana, serta dapat menghilangkan toksisitas dari senyawa pencemar berbahaya secara biologis.

2.6 Teknik Proses Bioremediasi

Saat ini ada beberapa teknik bioremediasi yang mampu menurunkan kadar pencemaran hidrokarbon minyak. Berdasarkan tempat berlangsungnya, terdapat dua macam teknik bioremediasi yaitu :

- a. Bioremediasi *in-situ* : media tercemarnya dan zat pencemarnya tetap berada pada lokasi asalnya ketika proses bioremediasi dilakukan.
- b. Bioremediasi *ex-situ* : media tercemar dan zat pencemarnya dipindahkan dari lokasi asal menuju ke tempat lain, yaitu tempat dimana akan dilakukan proses bioremediasi.

Sedangkan berdasarkan metode pendekatan, menurut Zhu *et al.* (2001), terdapat dua teknik bioremediasi yaitu :

1. Bioremediasi Augmentasi (Bioaugmentasi)
dimana mikroorganisme pendegradasi minyak ditambahkan untuk menambah populasi mikroba asli tanah yang telah ada
2. Bioremediasi Stimulasi (Biostimulasi)
dimana pertumbuhan mikroba pendegradasi minyak asli akan distimulasi dengan penambahan nutrisi dan/atau perubahan dari habitat.

Hasil penelitian skala laboratorium dan lapangan sebelumnya menunjukkan bahwa pada penambahan kultur mikroba (bioaugmentasi) tidak terjadi perubahan signifikan terhadap peningkatan degradasi minyak bumi jika dibandingkan dengan penambahan nutrisi (biostimulasi) pada populasi mikroorganisme alami (Van Hamme *et al.*, 2003). Hal ini dikarenakan mikroba yang ditambahkan ke dalam habitat media yang tercemar belum tentu mempunyai resistensi lebih baik dibandingkan mikroba asli dari tanah tercemar tersebut.

Adapun beberapa faktor pembatas ekologis yang dapat menghambat berlangsungnya proses bioremediasi minyak bumi, diantaranya adalah :

- Faktor Kimia, yaitu kurang tersedia nutrisi dan tidak dijumpai senyawa penunjang pertumbuhan.
- Faktor Lingkungan, yaitu kondisi fisik ekstrem (pH, kelembapan, redoks potensial), dan tidak tersedia donor elektron.
- Faktor Mikrobiologi, yaitu rendahnya kepadatan populasi mikroba pendegradasi polutan.

2.7 Faktor-Faktor yang Berpengaruh pada Proses Bioremediasi

Faktor-faktor yang memengaruhi efektifitas proses bioremediasi adalah faktor lingkungan, fisik, dan kimia. Faktor lingkungan meliputi suhu, pH, ketersediaan oksigen, nutrisi, dan kelembapan. Faktor fisik terdiri atas ketersediaan air, kesesuaian jumlah mikroorganisme dengan senyawa pencemar, dan tersedianya akseptor yang sesuai. Sementara faktor kimia terdiri atas bentuk struktur kimia dari senyawa pencemar yang akan memengaruhi sifat fisik dan kimia pencemar tersebut (Eweis *et al.*, 1998).

a) Kadar Oksigen

Bakteri yang biasa digunakan untuk mendegradasi hidrokarbon adalah bakteri aerob, yaitu bakteri yang membutuhkan oksigen dalam aktivitasnya. Oksigen dalam tanah dapat diperoleh dari proses difusi antara udara dengan tanah. Oksigen ini mudah habis terutama jika jumlah mikroorganisme yang memanfaatkan oksigen tersebut sangat banyak sedangkan proses difusi sendiri membutuhkan waktu yang lama. Keterbatasan jumlah oksigen diperkirakan dapat menjadi faktor penghambat biodegradasi minyak bumi di bawah tanah (Nugroho, 2006).

Pada proses pengolahan yang dilakukan secara aerob, pemberian oksigen (aerasi) perlu dilakukan dengan cara mengalirkan oksigen melalui pipa-pipa, pengadukan manual atau dengan alat berat (Kementerian Lingkungan Hidup, 2003). Kebutuhan oksigen juga dapat diperoleh melalui proses

pengadukan dan pembalikan secara berkala yang bertujuan untuk menjaga suhu tanah tetap ideal serta untuk menghomogenitaskan campuran pada tanah (Thapa *et al.*, 2012).

b) Kadar Air

Kondisi tanah yang lembab mengakibatkan degradasi bakteri dapat optimal karena terpenuhinya nutrient dan substrat. Kelembaban ideal bagi pertumbuhan bakteri adalah 25-28% (Thapa *et al.*, 2012), sedangkan kelembaban optimum untuk bioremediasi tanah tercemar adalah sekitar 80% kapasitas lapang atau sekitar 15% air dari berat tanah. Ketika kelembaban tanah mencapai 70%, hal tersebut dapat mengganggu proses transfer gas oksigen secara signifikan sehingga mengurangi aktivitas aerobik (Cookson, 1995).

Kadar air yang terkandung dalam tanah juga akan mempengaruhi keberadaan dan tingkat toksisitas kontaminan, transfer gas, serta pertumbuhan dan distribusi dari mikroorganisme (Cookson, 1995).

c) Suhu

Suhu tanah dapat memberi efek pada aktivitas mikroorganisme dan laju biodegradasi kontaminan senyawa hidrokarbon. Suhu optimum bagi hampir semua mikroorganisme tanah umumnya pada kisaran 10-40°C, walaupun ada beberapa yang dapat hidup hingga suhu 60°C (bakteri *termofilik*) (Retno dan Mulyana, 2013).

Pada keadaan suhu rendah (< 5°C) maka akan memperlambat atau menghentikan proses biodegradasi (Antizar *et al.*, 2007). Pada suhu rendah hanya fraksi hidrokarbon tertentu yang didegradasi, sedangkan pada suhu hangat berbagai fraksi dapat didegradasi pada kecepatan yang sama (Atlas dan Bartha, 1995).

d) pH

Nilai pH tanah berpengaruh pada kondisi optimum mikroorganisme pendegradasi karbon. Nilai pH akan mempengaruhi kemampuan mikroorganisme untuk menjalankan fungsi-fungsi sel, transpor sel membran maupun

keseimbangan reaksi yang terkatalis oleh enzim (Notodarmojo, 2005).

Pertumbuhan mikroorganisme akan meningkat apabila pH berada pada kisaran 6-9 (Eweis *et al.*, 1998). Penelitian biodegradasi endapan minyak yang dilakukan oleh Dibble dan Bartha (1979) juga menunjukkan bahwa pH 7,8 menghasilkan biodegradasi yang mendekati optimum.

e) Nutrien

Nutrisi merupakan faktor yang berpengaruh besar dalam sintesis dan pertumbuhan sel serta aktivitas enzim yang dihasilkan bakteri untuk mendegradasi polutan. Penambahan nutrisi juga diketahui dapat mempercepat pertumbuhan mikroba lokal yang terdapat pada daerah tercemar (Komarawidjaja dan Lysiasuti, 2009). Beberapa nutrisi penting yang dibutuhkan mikroorganisme adalah karbon, nitrogen, dan fosfor (Wulan dkk., 2012).

Nutrisi yang paling sering ditambahkan untuk bioremediasi adalah nitrogen. Nitrogen biasanya ditambahkan sebagai sumber nitrogen untuk pertumbuhan sel, tetapi juga dapat berfungsi sebagai akseptor elektron alternatif. Sebagai sumber nutrisi, nitrogen biasanya ditambahkan dalam bentuk urea atau garam amonia (Cookson, 1995). Kandungan unsur N yang tinggi akan meningkatkan emisi dari nitrogen sebagai amonium sehingga dapat menghalangi perkembangbiakan dari bakteri. Sebaliknya jika kandungan unsur N relatif rendah maka akan menyebabkan proses degradasi berlangsung lebih lambat karena nitrogen akan menjadi faktor penghambat (*growth-rate limiting factor*) (Alexander, 1994).

Untuk mengatasi keterbatasan nitrogen dan fosfor di dalam tanah dapat diatasi dengan penambahan pupuk NPK, garam amonium dan garam fosfat (Nugroho, 2006).

2.8 Mikroorganisme Pendegradasi Minyak

Pada lingkungan yang telah tercemar maupun kolam pengolahan limbah, secara alamiah telah terdapat bakteri pendegradasi minyak/lemak yang bersaing dan berkonsorsia dengan mikroorganisme lain di dalamnya. Oleh karena itu pada masa mendatang pengendalian pencemaran menggunakan

mikroba lebih berpotensi untuk diterapkan karena prosesnya yang ramah lingkungan serta dapat mengurangi penggunaan bahan kimia yang berpotensi menimbulkan pencemaran baru (Suyasa, 2007).

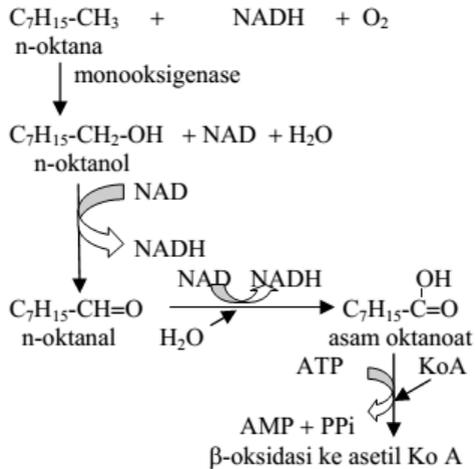
Mikroorganisme hidrokarbonoklastik yaitu mikroorganisme yang mampu mendegradasi senyawa hidrokarbon dan memanfaatkan senyawa tersebut sebagai sumber karbon dan energi yang diperlukan bagi pertumbuhannya. Mikroorganisme ini mampu menguraikan komponen minyak bumi kemudian akan menghasilkan bioproduk seperti gas, asam lemak, surfaktan, dan biopolimer (Hadi, 2003).

Bakteri maupun jamur yang memiliki kemampuan sebagai mikroorganisme hidrokarbonoklastik ini terdistribusi secara luas di laut, perairan tawar, dan tanah sebagai tempat hidupnya (Sugoro, 2002). Akan tetapi, tempat yang paling baik untuk menemukan mikroba pendegradasi minyak bumi adalah dari tumpahan minyak itu sendiri (Furlong, *et al.*, 1998). Mikroba pendegradasi hidrokarbon minyak bumi yang tergolong ke dalam bakteri hidrokarbonoklastik diantaranya adalah *Pseudomonas*, *Arthrobacter*, *Alcaligenes*, *Brevibacterium*, *Brevibacillus*, dan *Bacillus*.

Salah satu faktor yang mempengaruhi kemampuan mikroorganisme dalam menguraikan minyak bumi adalah suhu lingkungan. Berdasarkan suhu optimum pertumbuhannya, mikroorganisme dapat dikelompokkan menjadi 3, yaitu *psikrofilik*, dengan suhu optimum pertumbuhannya berkisar antara 5-15°C, *mesofilik* 25-40°C, dan *termofilik* 45-60°C. Pada umumnya, bioremediasi limbah minyak menggunakan mikroorganisme *mesofilik* (Karwati, 2009).

Degradasi senyawa alifatik (parafin) seperti n-alkana terutama melalui oksidasi pada gugus metil terminal membentuk alkohol primer dengan bantuan enzim oksigenase. Alkohol akan dioksidasi lebih lanjut menjadi aldehid, kemudian asam organik dan akhirnya dihasilkan asam lemak dan asetil koenzim A. Senyawa antara asetil Ko-A akan masuk ke dalam siklus Krebs, rantai karbon akan berkurang dari C_n menjadi C_{n-2} yang terus berlanjut sampai molekul hidrokarbon teroksidasi (Udiharto 1996). Hasil biodegradasi minyak bumi adalah pemotongan hidrokarbon menjadi rantai yang lebih pendek dan gas-gas. Gas-gas tersebut

adalah CO₂, CO, CH₄, C₂H₆, C₃H₈, C₄H₁₀, H₂S, N₂, dan H₂. Gas CH₄ dan CO₂ sering dijadikan indikator terjadinya biodegradasi (Nugroho, 2006). Reaksi degradasi hidrokarbon alifatik oleh mikroorganisme dapat dilihat pada Gambar 2.1.



Gambar 2. 1 Contoh Reaksi Degradasi Hidrokarbon Alifatik

2.9 Total Petroleum Hidrokarbon (TPH)

Hidrokarbon minyak bumi (*Petroleum Hydrocarbon*) adalah berbagai jenis senyawa hidrokarbon yang terkandung di dalam minyak bumi. Menurut US EPA (1999), petroleum hidrokarbon berasal dari minyak mentah (*crude oil*). *Crude oil* ini digunakan untuk membuat produk petroleum, yang dapat mencemari lingkungan.

Total Petroleum Hidrokarbon (TPH) adalah prosentase kandungan minyak mentah pada media tanah yang terpapar untuk menentukan tingkat aman bagi lingkungan (Santosa, 2007). TPH juga merupakan jumlah hidrokarbon minyak bumi yang terukur dari media lingkungan.

Dalam proses bioremediasi, terdapat beberapa metode untuk menganalisis TPH, antara lain adalah spektrofotometri inframerah (IR), gas kromatografi (GC), dan gravimetri (Kementrian Lingkungan Hidup, 2003). Pengukuran TPH dengan

spektrofotometri IR biasanya digunakan untuk mengukur konsentrasi TPH rendah (< 500 ppm). Penggunaan metode analisis ini juga sudah mulai menurun dan terbatas karena keterbatasan penggunaan CCl_4 yang diperlukan untuk ekstraksi sampel. Sedangkan untuk metode GC dapat mendeteksi berbagai jenis hidrokarbon, sensitivitas, dan selektivitas yang terbaik. Metode ini dapat digunakan untuk kuantifikasi TPH sehingga umumnya dipakai sebagai analisa awal dan akhir proses analisis yang memakan waktu cukup lama. Untuk metode yang terakhir adalah gravimetri. Metode gravimetri ini sederhana, cepat, dan murah sehingga metode ini paling sesuai untuk pengukuran TPH pada tahapan monitoring proses bioremediasi. Menurut US EPA (1999), tipikal produk yang cocok untuk dideteksi dengan metode gravimetri adalah hampir semua produk minyak berat, diantaranya minyak pelumas.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB III METODE PENELITIAN

3.1 Umum

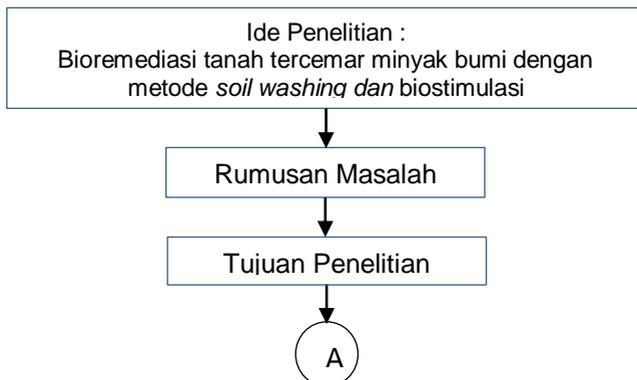
Penelitian ini akan dilakukan upaya pemulihan tanah yang telah tercemar minyak bumi dengan cara biologis (bioremediasi) dengan metode biostimulasi. Sebelum proses penelitian dilakukan, maka terlebih dahulu dibuat suatu metode penelitian yang sistematis dengan tujuan sebagai berikut :

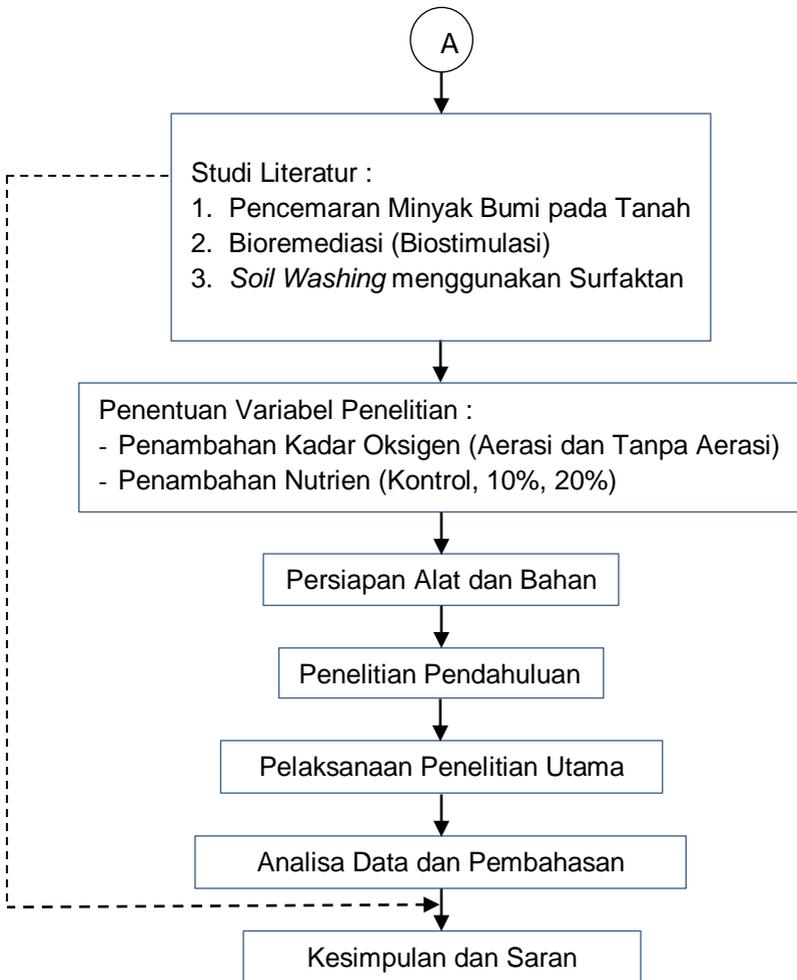
1. Langkah awal untuk mengetahui setiap tahapan penelitian agar pelaksanaan penelitian dan penulisan laporan tugas akhir dapat berjalan secara sistematis
2. Memudahkan untuk mengetahui hal-hal yang berkaitan dengan pelaksanaan penelitian supaya tujuan penelitian dapat tercapai
3. Menghindari terjadinya kesalahan selama proses penelitian.

Penelitian ini akan dilakukan dalam beberapa tahap, yaitu perumusan ide penelitian, studi literatur, persiapan alat dan bahan, penelitian pendahuluan, pelaksanaan penelitian utama, analisis data dan pembahasan, serta penarikan kesimpulan dan saran.

3.2 Kerangka Penelitian

Kerangka penelitian ini merupakan bagan alir untuk memberikan gambaran umum mengenai tahapan-tahapan yang akan dilakukan dalam penelitian ini. Kerangka penelitian selengkapya dapat dilihat pada Gambar 3.1





Gambar 3. 1 Kerangka Penelitian

3.3 Studi Literatur

Sumber literatur yang digunakan dalam penelitian ini meliputi buku buku teks, jurnal ilmiah, laporan penelitian tugas akhir, serta tesis mengenai penelitian terdahulu tentang

bioremediasi tanah tercemar minyak. Selain itu, sumber literatur juga dapat diperoleh dari artikel-artikel di internet. Studi Literatur yang dipelajari diantaranya mengenai :

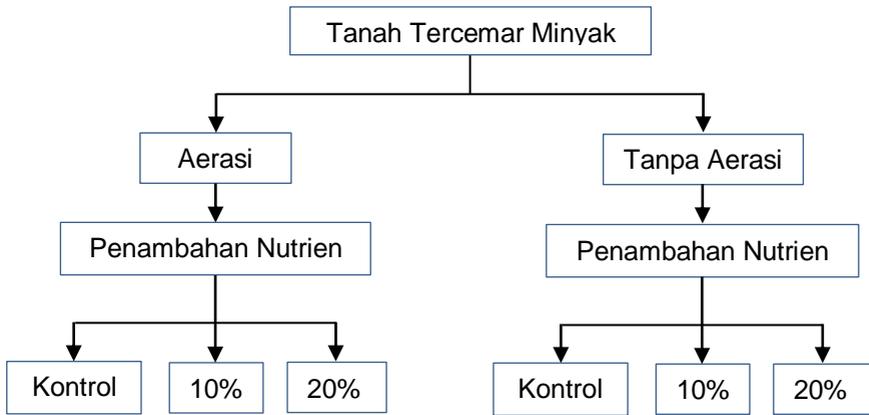
- Pencemaran Minyak Bumi pada Tanah
- Bioremediasi (Biostimulasi)
- *Soil Washing* menggunakan Surfaktan
- Mikroorganisme Pendegradasi Minyak Bumi

Studi literatur dilakukan dari awal sampai akhir penelitian untuk menunjang jalannya penelitian untuk memperoleh dasar teori yang jelas dan kuat sehingga ketika melakukan analisis dan pembahasan data penelitian dapat diperoleh suatu kesimpulan dari hasil penelitian ini.

3.4 Penentuan Variabel dan Parameter Penelitian

Penelitian ini menggunakan 2 macam variabel, yaitu penambahan nutrisi dan penambahan kadar oksigen ke dalam tanah. Untuk penambahan nutrisi, nutrisi yang akan ditambahkan ke dalam tanah berupa pupuk NPK. Penambahan pupuk NPK ini bertujuan untuk memberikan nutrisi bagi bakteri sebagai sumber nitrogen dan fosfor (Hafiluddin, 2011). Sumber karbon sendiri sudah didapatkan dari kandungan hidrokarbon pada pencemar. Variasi yang digunakan 3 macam, yaitu tanpa penambahan (kontrol), penambahan 10% dan 20%. Variasi ini digunakan untuk mengetahui konsentrasi penambahan nutrisi yang paling optimum untuk menurunkan kadar minyak dalam tanah.

Sedangkan untuk penambahan kadar oksigen, akan dibuat 2 variasi yaitu di aerasi dan tanpa aerasi. Tujuan dari variasi ini adalah untuk mengetahui apakah pengaruh aerasi dapat membantu mempercepat dan mengoptimalkan penurunan kadar minyak (TPH) dalam tanah. Variasi ini juga digunakan untuk mengetahui apakah bakteri yang terdapat di dalam tanah adalah bakteri aerob atau anaerob, walaupun pada umumnya bakteri yang digunakan untuk mendegradasi hidrokarbon adalah bakteri aerob. Berikut ini adalah gambar bagan dan tabel variasi perlakuan pada penelitian :



Gambar 3. 2 Variabel Penelitian Utama

Tabel 3. 1 Variasi Perlakuan Penelitian

	A1	A2
B1	A1B1	A2B1
B2	A1B2	A2B2
B3	A1B3	A2B3

Keterangan :

A1B1 = Media di aerasi tanpa penambahan nutrisi

A1B2 = Media di aerasi dengan penambahan nutrisi 10%

A1B3 = Media di aerasi dengan penambahan nutrisi 20%

A2B1 = Media tanpa di aerasi dan tanpa penambahan nutrisi

A2B2 = Media tanpa di aerasi dengan penambahan nutrisi 10%

A2B3 = Media tanpa di aerasi dengan penambahan nutrisi 20%

3.5 Persiapan Alat dan Bahan

Penelitian ini akan menggunakan beberapa alat dan bahan pendukung agar penelitian dapat berjalan dengan baik. Berikut ini adalah beberapa alat yang akan digunakan pada penelitian ini, yaitu :

- Reaktor, terbuat dari bahan kaca sebagai wadah tempat berlangsungnya penelitian

- Aerator sebagai alat pembantu penambahan kadar oksigen pada tanah
- Ayakan 20 mesh, untuk menghaluskan dan memisahkan media tanah hingga ukuran partikel \leq 2mm.
- Sekop Kecil, untuk mengambil tanah atau kompos yang akan dipakai
- Soil Tester T-350 untuk analisa pH dan suhu
- Pengaduk *Jartest* untuk pengadukan saat *soil washing*
- *Coloni Counter* untuk analisa jumlah bakteri dengan metode *total plate count* (TPC)
- Neraca Analitik, untuk menimbang tanah, kompos, dan serbuk NA secara akurat
- Tabung Reaksi, digunakan untuk meletakkan larutan agar sebelum dipindah ke cawan petri
- Cawan Petri, digunakan sebagai media tumbuh bakteri
- *Beaker Glass*, digunakan sebagai wadah larutan / wadah pembuatan larutan
- Spatula, digunakan mengambil serbuk Natrium Agar (NA) / pengaduk larutan
- *Autoclave* untuk mensterilkan peralatan laboratorium
- Inkubator, untuk menginkubasi bakteri dalam media agar
- Pipet Ukur dan propipet, digunakan untuk mengambil larutan dengan volume tertentu
- Cawan porselen, oven, desikator untuk analisa total petroleum hidrokarbon (TPH) dengan metode gravimetri

Sedangkan bahan yang dibutuhkan pada penelitian ini meliputi

- Tanah menggunakan tanah pasir bangunan
- Pencemar minyak bumi menggunakan pelumas kendaraan bermotor (oli)
- Pupuk NPK digunakan sebagai nutrien untuk mikroba
- Larutan *n-hexane* untuk analisis gravimetri
- Na_2SO_4 anhidrat untuk analisis gravimetri
- Kertas saring untuk analisis gravimetri
- Tween-80 untuk larutan pencuci surfaktan pada *soil washing*
- Nutrien Agar (NA) untuk pengamatan jumlah bakteri dalam tanah dan analisis pendahuluan

- Bahan-bahan pelengkap lain yang membantu jalannya penelitian.

3.6 Pelaksanaan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis variabel penelitian sehingga nantinya dapat diketahui apakah variasi perlakuan penambahan kompos sebagai nutrisi dapat mempengaruhi tingkat biodegradasi hidrokarbon minyak bumi (TPH) pada media tanah yang tercemar, serta dapat mengamati pengaruh pH, suhu, serta jumlah mikroba

Tahapan penelitian ini akan dilaksanakan selama 45 hari dimana penelitian dan proses analisis parameter yang akan dilakukan adalah sebagai berikut :

A. Pembuatan Media Tercemar (*Spiked Soil*)

Media yang digunakan dalam penelitian ini adalah pasir bangunan (massa jenis $1,27 \text{ g/cm}^3$). Kontaminan pencemar yang digunakan adalah oli motor (massa jenis $0,83 \text{ g/cm}^3$). Oli motor diharapkan dapat mewakili pencemaran minyak bumi pada tanah dalam kondisi sebenarnya. Pencemaran minyak pada sampel tanah akan dibuat dengan sengaja sebesar 20% (b/b).

Pasir bangunan terlebih dahulu dijemur dibawah sinar matahari selama ± 1 hari. Proses penjemuran bertujuan untuk menghilangkan kandungan air berlebih pada media. Setelah melewati proses penjemuran, tanah diayak dengan saringan 20 mesh. Hal ini mengacu pada penelitian yang telah dilakukan Zhang *et al.* (2011), Sampel tanah dihaluskan dan diayak hingga mendapatkan ukuran partikel $\leq 2\text{mm}$ untuk memisahkan tanah dengan batu dan kerikil kecil lainnya. Gambar 3.3 merupakan hasil pasir bangunan yang telah dijemur dan disaring berwarna abu abu pucat.



Gambar 3. 3 Pasir Bangunan yang Telah Dijemur dan Diayak

Pasir hasil ayakan tersebut kemudian ditimbang sesuai dengan konsentrasi tanah tercemar sebesar 20% (b/b). Untuk membuat 100 gram tanah tercemar, dibutuhkan 80 gram pasir dan 20 gram oli. Keduanya ditimbang menggunakan timbangan analitik (kapasitas 3kg). Kemudian setelah keduanya ditimbang dengan teliti, pasir dan oli dicampurkan ke dalam *beaker glass*. Gambar 3.4 menunjukkan bagaimana proses penimbangan serta pencampuran pasir dan oli tersebut.



Gambar 3. 4 Proses Penimbangan dan Pencampuran Tanah dengan Minyak

Setelah oli dan pasir dicampur, didiamkan selama 2-3 hari sampai oli tercampur merata ke dalam pasir. Hal ini ditunjukkan dengan warna pasir yg menjadi kehitaman dan berminyak. Perubahan warna pada pasir yang telah ditambahkan oli dapat dilihat pada Gambar 3.5.



Gambar 3. 5 Perubahan Warna Tanah Sebelum dan Sesudah Dicampur dengan Minyak

Tahapan selanjutnya yaitu menganalisa konsentrasi TPH awal pada sampel tanah yang telah dibuat dengan metode gravimetri. Diawali dengan menimbang sebanyak 5 gram sampel tanah yang telah dibuat, kemudian tambahkan 50 ml *n-hexane* dan diaduk selama ± 10 menit hingga terlihat warna larutan

menjadi kecoklatan. Penambahan *n-hexane* bertujuan untuk mengikat kandungan minyak yang terkandung dalam sampel tanah. Pisahkan sampel tanah dengan larutan *n-hexane* yang telah bercampur minyak bumi dengan penyaringan menggunakan kertas saring *whatman*. Proses penyaringan akan menghasilkan residu berupa tanah dan filtrat berupa larutan *n-hexane* yang bercampur minyak bumi.

Filtrat hasil penyaringan ditambahkan 2 sendok spatula atau sekitar 2,5 gram Natrium Sulfat (Na_2SO_4) anhidrat kemudian diaduk selama ± 10 menit. Penambahan Natrium Sulfat (Na_2SO_4) anhidrat ini bertujuan untuk menghilangkan kandungan air yang masih terkandung di dalam filtrat. Filtrat kemudian disaring kembali dengan menggunakan kertas saring.

Filtrat hasil penyaringan kedua diletakkan di cawan porselen (cawan porselen telah ditimbang terlebih dahulu berat awalnya) kemudian masukkan cawan ke dalam oven bersuhu 105°C selama ± 1 jam.

Setelah selesai proses pengovenan, cawan porselen yang berisi residu dimasukkan ke dalam desikator selama ± 15 menit kemudian ditimbang di neraca analitik lalu dihitung kandungan TPH yang terkandung di dalam sampel tanah (cara perhitungan lebih lengkap ada pada Lampiran 2).

B. Penelitian Pendahuluan

Penelitian pendahuluan ini berupa perlakuan *pre treatment soil washing* pada sampel tanah yang tercemar minyak. *Soil washing* akan dilakukan dengan cara mencampurkan tanah yang terlebih dahulu sudah diberi pencemar minyak bumi berupa pelumas kendaraan bermotor (oli). Sampel tanah tersebut kemudian dicampur dengan Tween-80. Tween-80 adalah surfaktan nonionik yang bersifat *biodegradable*. Menurut Charlena dkk (2009), Surfaktan nonionik adalah bahan esensial yang tidak beracun dengan konsentrasi ambang batas lebih dari 100g/kg. Surfaktan akan divariasikan berdasarkan rasio campuran tanah dengan surfaktan dan konsentrasi penambahan surfaktan. Perlakuan pencucian juga akan dilakukan pengulangan untuk mengetahui tingkat efektifitas surfaktan dalam menurunkan kadar TPH pada tanah. Variasi perlakuan pada proses *soil washing* dapat dilihat pada Tabel 3.2.

Tabel 3. 2 Variasi Penelitian Pendahuluan

Rasio Perbandingan Tanah dengan Surfaktan (b/v)	Penambahan Surfaktan (v/v)	Perlakuan Pencucian
100 g/L	0 %	2
100 g/L	0,02 %	2
100 g/L	0,04 %	2
50 g/L	0 %	2
50 g/L	0,02 %	2
50 g/L	0,04 %	2
Total Perlakuan Percobaan		12

Tahapan selanjutnya adalah pengadukan campuran sampel tanah terkontaminasi minyak dengan larutan surfaktan. Penelitian yang telah dilakukan oleh Urum *et al.* (2004), pengadukan dilakukan menggunakan sentrifuge selama ± 20 menit dengan kecepatan 3000 rpm setiap variasi perlakuan. Pada penelitian ini, pencucian tanah dilakukan menggunakan jarrest dengan kecepatan 300 rpm selama 60 menit.

Ketika pengadukan selesai, dibiarkan sejenak untuk memisahkan antara endapan dan cairan. Endapan tanah akan dianalisa berat minyak bumi yang terkandung dengan metode gravimetri sehingga dapat diketahui kandungan TPH akhir hasil dari *pre-treatment* ini. Penelitian ini akan diulang sampai mendapat hasil yang ingin dicapai. Kandungan TPH akhir yang ingin dicapai sebesar $\geq 15\%$, sehingga sampel tanah tercemar dapat dilanjutkan ke penelitian utama, yaitu bioremediasi dengan metode biostimulasi.

C. Analisa Parameter

Parameter yang akan diamati pada penelitian bioremediasi tanah tercemar minyak bumi ini adalah :

- Dilakukan setiap 3 hari
 - pH tanah, diukur dengan pH meter
 - suhu tanah, diukur dengan termometer
- Dilakukan setiap minggu (setiap 7 hari)
 - Total petroleum hidrokarbon (TPH) dengan metode gravimetri

- Dilakukan pada awal dan akhir penelitian (hari ke-0 dan hari ke-30 penelitian)
 - Total koloni mikroba dengan metode *total plate count* (TPC)

3.7 Analisis Data dan Pembahasan

Analisa data dan pembahasan dilakukan terhadap data yang diperoleh dari hasil analisis parameter yang meliputi data dari penurunan kandungan minyak (TPH), pH, suhu, serta parameter lain berpengaruh terhadap penelitian.

- Hubungan antara variasi perlakuan pada soil washing dengan efisiensi penurunan TPH pada tanah tercemar.
- Hubungan antara variasi perlakuan pada bioremediasi dengan efisiensi penurunan TPH pada tanah tercemar.
- Hubungan antara parameter (pH, suhu, dan total koloni mikroba) dengan efisiensi penurunan TPH pada tanah tercemar.

Setelah dilakukan analisa data dan pembahasan ini, akan didapatkan titik optimum dari penurunan TPH terbesar yang terjadi pada berbagai variasi perlakuan serta parameter mana yang paling berpengaruh pada penelitian ini.

3.8 Kesimpulan dan Saran

Setelah dilakukan analisis data dan pembahasan terhadap semua data yang telah dikumpulkan, maka dapat ditarik kesimpulan dari penelitian ini. Kesimpulan diambil berdasarkan hasil akhir yang diperoleh dari hasil penelitian serta dapat menjawab tujuan penelitian yang telah dibuat sebelumnya. Sedangkan saran ditujukan untuk penelitian selanjutnya agar tidak melakukan kesalahan yang terjadi pada penelitian ini sehingga penyempurnaan pada penelitian berikutnya dapat tercapai.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Pelaksanaan *Soil Washing*

Penelitian pendahuluan berupa pencucian tanah (*soil washing*) untuk menurunkan kadar total petroleum hidrokarbon (TPH) yang terkandung pada tanah tercemar tersebut. *Soil washing* ini diharapkan dapat menurunkan kadar TPH yang berlebih pada tanah yang tercemar.

4.1.1 Analisa Total Petroleum Hidrokarbon (TPH) Awal

Pengukuran nilai TPH menggunakan metode gravimetri disesuaikan dengan US EPA-821-R-98-002 Metode 1664 tahun 1999. Pengukuran dilakukan secara *triplo* kemudian dirata rata untuk mendapatkan nilai TPH awal yang akurat pada sampel tanah.

Setelah dilakukan analisa dengan metode gravimetri (tata cara analisa TPH dengan metode gravimetri dapat dilihat pada Lampiran 2), didapatkan 3 nilai yaitu sebesar 11,23%; 11,96%; dan 12,31%. Hasil tersebut kemudian dirata-rata sehingga didapatkan konsentrasi TPH awal pada sampel tanah tercemar sebesar 11,83%.

4.1.2 Hasil Analisa Total Petroleum Hidrokarbon (TPH) setelah Proses *Soil Washing*

Tujuan adanya *pre-treatment soil washing* pada penelitian ini adalah untuk menurunkan konsentrasi TPH sebelum dilakukannya proses bioremediasi. Nilai TPH awal sampel tanah menunjukkan 11,83% (TPH < 15%), sesuai dengan KEPMENLH no 128 Tahun 2003 berarti pengolahan tanah tercemar dapat langsung diolah dengan bioremediasi tanpa adanya pemanfaatan/pengolahan awal terlebih dahulu.

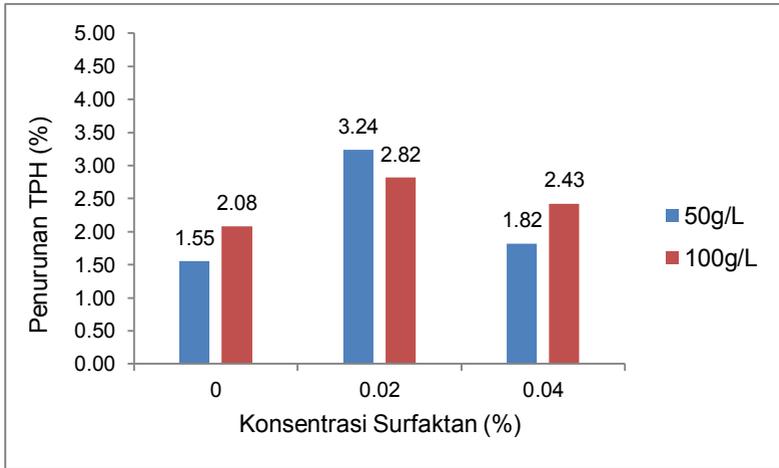
Akan tetapi, konsentrasi hidrokarbon yang terlalu tinggi akan menciptakan lingkungan dimana mikroba sulit untuk memecahkan molekul minyak (Nugroho, 2006). Kondisi optimum biodegradasi limbah minyak bumi terjadi pada total kontaminan (TPH) sebesar 5-10% (Vidali, 2001). Oleh karena itu, *soil washing* masih perlu dilakukan untuk menurunkan nilai TPH awal yang cukup tinggi pada sampel tanah.

Soil washing dilakukan dengan 3 variasi. Pertama yaitu rasio perbandingan tanah dengan larutan surfaktan (50 g/L dan 100 g/L). Rasio perbandingan tanah dengan larutan sebesar 50g/L berarti untuk mencuci 50 gram tanah tercemar dibutuhkan 1000 ml larutan surfaktan. Kedua yaitu konsentrasi surfaktan (0%; 0,02%; dan 0,04%). Konsentrasi surfaktan 0,02% (v/v) berarti 20 ml surfaktan Tween-80 diencerkan hingga 1000 ml dengan aquades. Variasi ketiga yaitu pengulangan pencucian. Pengulangan pencucian yang dimaksud adalah mencuci kembali sampel tanah baru dengan larutan surfaktan yang telah digunakan untuk pencucian tanah awal. Tujuan adanya variasi pencucian ulang pada *soil washing* adalah untuk mengetahui kemampuan larutan surfaktan dalam mengikat kembali kandungan minyak yang terkandung di dalam sampel tanah tercemar.

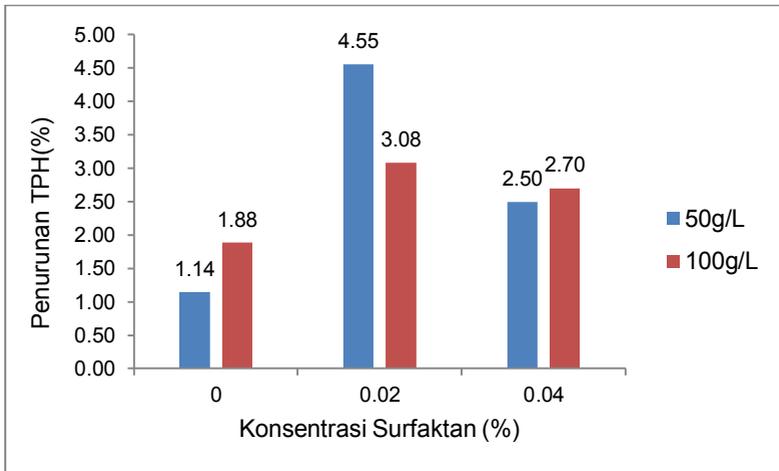
Metode *soil washing* atau pencucian tanah ini akan menggunakan metode jarrest. Jarrest akan dijalankan dengan kecepatan 300 rpm selama 60 menit untuk mencuci sampel tanah tercemar dengan larutan surfaktan yang telah dibuat (tata cara *soil washing* menggunakan jarrest selengkapnya dapat dilihat pada Lampiran 3). Setelah *soil washing* dilakukan, kemudian pisahkan antara fase padat (tanah) dengan fase cair (larutan surfaktan). Larutan surfaktan bekas pencucian awal kemudian digunakan untuk mencuci

Hasil dari analisa nilai TPH pada pencucian tanah (*soil washing*) awal dapat dilihat pada Gambar 4.1 dan hasil analisa TPH pada pengulangan pencucian dapat dilihat pada Gambar 4.2.

Larutan surfaktan yang digunakan kembali untuk mencuci tanah terbukti masih mampu mengikat kandungan minyak yang terdapat pada sampel tanah baru. Dapat dilihat pada Gambar 4. 1 maupun Gambar 4. 2, pada variasi konsentrasi surfaktan 0,02% maupun 0,04% semuanya terjadi kenaikan pada persentase penurunan TPH. Hal ini berbeda dengan pengulangan pencucian pada konsentrasi surfaktan 0% (kontrol) yang mengalami penurunan dibandingkan hasil pencucian awal.



Gambar 4. 1 Perbandingan Nilai Total Petroleum Hidrokarbon (TPH) pada Pencucian Awal



Gambar 4. 2 Perbandingan Nilai Total Petroleum Hidrokarbon (TPH) pada Pencucian Ulang

Dari hasil analisa tersebut, diketahui penurunan nilai TPH tertinggi berada pada pengulangan pencucian tanah yang menggunakan rasio perbandingan tanah - larutan pencuci

sebesar 50g/L dengan konsentrasi surfaktan sebesar 0,02% (v/v). Pada variasi tersebut, nilai TPH yang tersisa pada sampel tanah adalah 7,28% (turun sebanyak 4,55% dari nilai TPH awal).

4.2 Pelaksanaan Bioremediasi

Pelaksanaan penelitian utama ini menggunakan metode biostimulasi, yaitu pertumbuhan mikroba pendegradasi minyak asli tanah akan distimulasi dengan penambahan nutrisi dan/atau perubahan dari habitat (Zhu *et al.*, 2001). Nutrisi yang digunakan pada penelitian ini adalah pupuk NPK. Pupuk NPK digunakan untuk memenuhi kebutuhan nutrisi penting bagi mikroba, yaitu karbon, nitrogen, dan fosfor. Karbon akan didapatkan dari senyawa hidrokarbon yang terkandung dalam sampel tanah tercemar. Sedangkan nitrogen dan fosfor akan didapatkan dari pupuk NPK yang ditambahkan pada tanah.

Variasi yang digunakan pada bioremediasi ada dua, yaitu penambahan nutrisi pada tanah (0; 10% dan 20%) serta penambahan kadar oksigen pada tanah (aerasi dan non-aerasi). Penambahan nutrisi sebanyak 10% berarti pupuk NPK yang ditambahkan sebanyak 1/10 dari total berat sampel tanah yang digunakan (gram per gram). Sedangkan untuk aerasi digunakan aerator dengan kecepatan 5 mL/menit atau sama dengan 0,3L/jam (diukur dengan *flow meter*) untuk membantu menambah kadar oksigen dalam tanah (dokumentasi reaktor, pupuk NPK dan aerator dapat dilihat pada Lampiran 1).

Sebelum dilakukan bioremediasi, dilakukan pembuatan *spiked soil* baru yang mengacu pada hasil analisa yang telah dilakukan pada *pre-treatment soil washing*. Pada tahap tersebut, penurunan tertinggi dari nilai TPH dalam tanah adalah sebesar 4,55%. Diketahui sebelumnya bahwa nilai TPH awal dari sampel tanah tercemar yaitu sebesar 11,83%. Berarti nilai TPH yang tersisa dalam sampel tanah berkisar sekitar 7,28%.

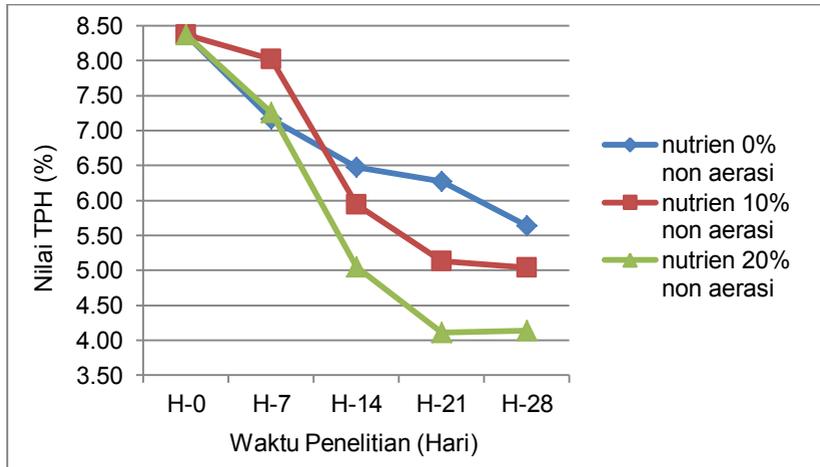
Setelah dilakukan perhitungan silang, diasumsikan bahwa nilai konsentrasi minyak yang harus ditambahkan pada *spiked soil* yang akan dibuat adalah sebesar 12,31% (b/b) (perhitungan dapat dilihat di Lampiran 5). Setelah *spiked soil* dibuat, kembali diukur nilai TPH awal untuk mengetahui nilai sebenarnya dari nilai TPH yang terkandung di dalam sampel tanah yang baru dibuat.

Pengukuran nilai TPH awal kembali dilakukan secara *triplo* kemudian dirata-rata untuk mendapatkan nilai TPH awal yang cukup akurat. Setelah dilakukan analisa TPH awal menggunakan metode gravimetri, didapatkan nilai TPH awal sebesar 8,37%.

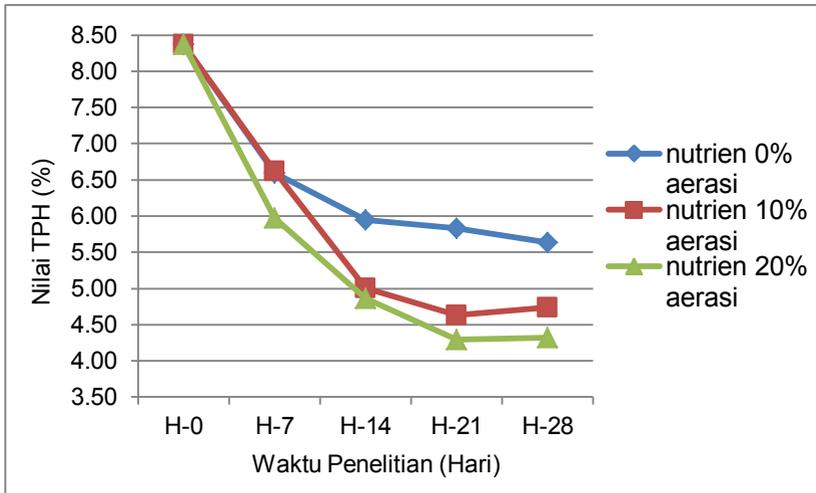
4.2.1 Hasil Analisa Parameter TPH pada Bioremediasi

Pengukuran konsentrasi TPH pada sampel tanah bertujuan untuk mengetahui kemampuan bakteri asli tanah dalam mendegradasi senyawa hidrokarbon yang terkandung dalam tanah. Hal ini akan dibuktikan dengan terjadinya penurunan konsentrasi TPH selama waktu penelitian berlangsung. Menurut Retno dan Mulyana (2013), TPH merupakan salah satu parameter paling penting dalam menentukan tingkat keberhasilan proses bioremediasi.

Untuk parameter ini, pengukuran dilakukan setiap satu minggu sekali selama 30 hari. Pengukuran dilakukan dengan metode gravimetri. Hasil pengukuran nilai TPH selengkapnya dapat dilihat pada Lampiran 5.



Gambar 4. 3 Nilai Parameter Total Petroleum Hidrokarbon (TPH) pada Variasi Non-Aerasi selama Proses Bioremediasi

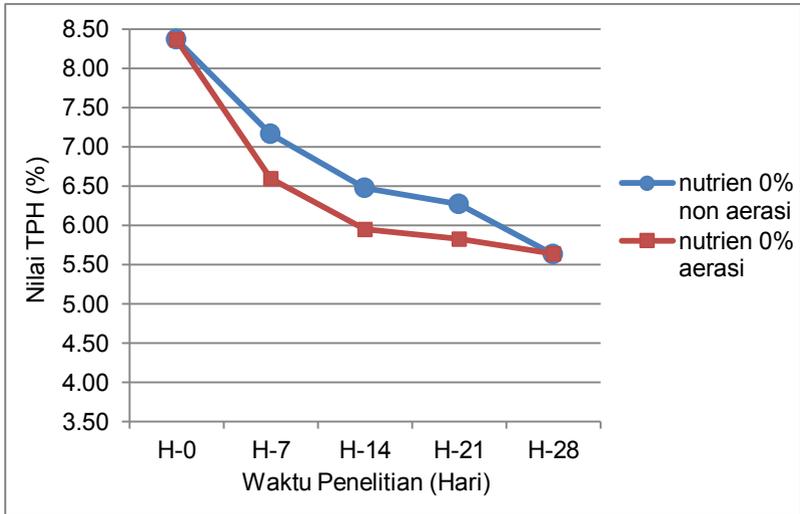


Gambar 4. 4 Nilai Parameter Total Petroleum Hidrokarbon (TPH) pada Variasi Aerasi selama Proses Bioremediasi

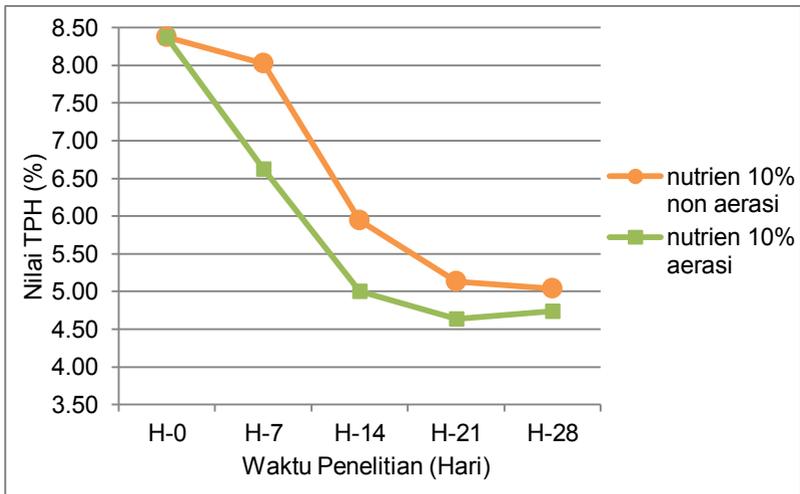
Hasil pengamatan yang telah dilakukan terhadap nilai TPH dalam tanah memperlihatkan bahwa secara umum nilai TPH pada setiap variasi perlakuan mengalami penurunan. Penambahan nutrisi berupa pupuk NPK sangat berpengaruh pada tingkat degradasi nilai TPH pada sampel tanah tercemar minyak. Semakin tinggi konsentrasi pupuk NPK yang ditambahkan, maka tingkat penurunan nilai TPH juga semakin baik.

Pada Gambar 4.3 (variasi perlakuan tanpa aerasi), penurunan nilai TPH paling tinggi berada pada minggu ke-2 bioremediasi. Sedangkan pada Gambar 4.4 (variasi perlakuan dengan aerasi), penurunan nilai TPH paling tinggi berada pada minggu ke-1 bioremediasi.

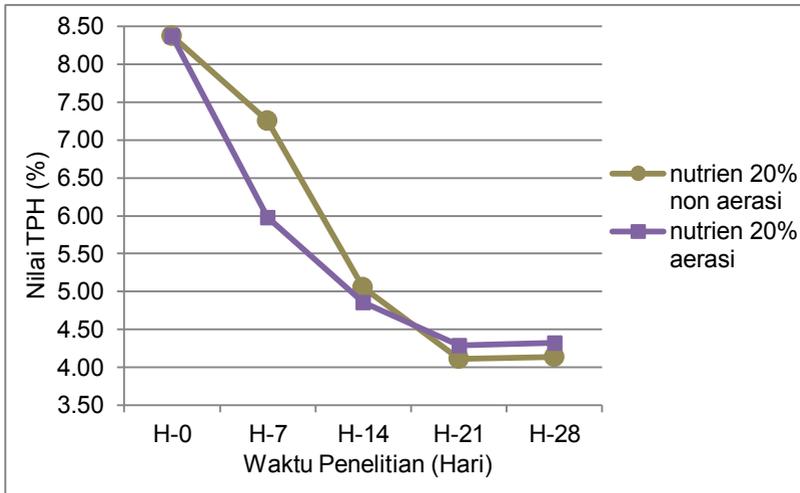
Untuk Gambar 4.5, grafik penurunan nilai TPH antara yang ditambahkan aerasi dan tanpa penambahan aerasi cenderung mempunyai pola yang sama. Akan tetapi reaktor yang ditambahkan aerasi mempunyai tingkat penurunan yang lebih baik bila dibandingkan dengan reaktor yang tidak ditambahkan aerasi. Hal yang tidak jauh berbeda juga terjadi pada Gambar 4.6 (variasi penambahan nutrisi 10%).



Gambar 4. 5 Nilai Parameter Total Petroleum Hidrokarbon (TPH) pada Variasi Penambahan Nutrien 0% selama Proses Bioremediasi



Gambar 4. 6 Nilai Parameter Total Petroleum Hidrokarbon (TPH) pada Variasi Penambahan Nutrien 10% selama Proses Bioremediasi



Gambar 4. 7 Nilai Parameter Total Petroleum Hidrokarbon (TPH) pada Variasi Penambahan Nutrien 20% selama Proses Bioremediasi

Pada Gambar 4.7 (variasi penambahan nutrisi 20%), terjadi perbedaan dengan variasi penambahan nutrisi 0% dan 10%. Pada awal penelitian hingga minggu ke-2, nilai penurunan TPH pada reaktor aerasi lebih baik. Pada minggu ke-3 penelitian nilai akhir dari TPH pada reaktor non-aerasi sedikit lebih baik dibanding reaktor aerasi. Pada minggu ke-4 penelitian, terjadi kenaikan yang cukup kecil (berkisar 0,03%) pada nilai TPH pada variasi aerasi maupun non aerasi. Hal ini mungkin disebabkan dari pengaruh kurang meratanya pengambilan *sampling point* ketika dilakukan analisa TPH.

Digunakan uji statistik ANOVA two-way dengan aplikasi SPSS Versi 16.0 untuk menguji adanya pengaruh signifikan dari variasi penambahan kadar oksigen (aerasi) terhadap degradasi nilai TPH pada bioremediasi. Pengujian menggunakan tingkat signifikansi (α) sebesar 5% atau 0,05. Variabel independen berupa "penambahan nutrisi" dan "penambahan aerasi", sedangkan variabel dependen yaitu hasil "perlakuan".

Pada tabel *levene's test of equality of error variances* (lihat Lampiran 6 Tabel C) didapatkan F hitung 1,185 dengan nilai signifikansi sebesar 0,346. Hipotesa awal berupa :

Ho : variasi penambahan aerasi tersebut memiliki varian yang sama.

Hi : variasi penambahan aerasi tersebut terdapat perbedaan (tidak identik variannya)

Dengan kriteria pengambilan keputusan sebagai berikut :

Jika nilai signifikansi $> 0,05$ maka Ho diterima

Jika nilai signifikansi $< 0,05$ maka Ho ditolak.

Karena F hitung sebesar 1,185 dengan probabilitas (nilai signifikansi) 0,346 adalah lebih besar dari 0,05 [$0.346 > 0.05$] maka variasi penambahan aerasi tersebut memiliki varian yang sama, berarti syarat untuk melakukan uji anova yaitu jumlah data harus berdistribusi normal telah terpenuhi.

Kemudian dilanjutkan dengan melihat hasil dari tabel *test of between-subjects effects* (lihat Lampiran 6 Tabel D). dari tabel tersebut dapat dilihat bahwa pada AERASI (variasi penambahan aerasi) didapatkan F hitung sebesar 0,471 dengan nilai signifikansi 0,499.

Hipotesa :

Ho : rata-rata hasil degradasi TPH untuk variasi penambahan aerasi adalah sama.

Hi : rata-rata hasil degradasi TPH untuk variasi penambahan aerasi terdapat perbedaan.

Dasar pengambilan keputusan adalah sebagai berikut :

Jika nilai signifikansi $> 0,05$ maka Ho diterima

Jika nilai signifikansi $< 0,05$ maka Ho ditolak atau menerima Hi

Karena F hitung sebesar 0,471 dengan nilai signifikansi 0,499 adalah lebih besar dari 0,05 [$0.499 > 0.05$] maka diambil keputusan bahwa untuk variasi penambahan aerasi memiliki rata-rata hasil degradasi TPH yang sama atau tidak ada perbedaan.

Dari hasil uji two-way anova diatas dapat disimpulkan bahwa variasi penambahan aerasi pada hasil degradasi nilai TPH bioremedasi adalah tidak berpengaruh signifikan. Hal ini disebabkan debit suplai udara yang ditambahkan pada reaktor sampel sebesar 0,3 L/jam. Melihat penelitian yang telah dilakukan oleh Zhang *et al.* (2011), aerasi optimal yang seharusnya ditambahkan dalam proses remediasi tanah tercemar hidrokarbon adalah sebesar 3 – 25 L/jam/kg.

4.2.2 Hasil Analisa Parameter pH pada Bioremediasi

Pengukuran pH pada sampel tanah bertujuan untuk mengetahui dan mengontrol nilai pH, serta dapat mengetahui pengaruh pH terhadap proses biodegradasi hidrokarbon minyak bumi pada setiap variasi perlakuan.

Pengukuran pH dilakukan setiap 3 hari sekali selama 30 hari. Pengukuran dilakukan menggunakan alat soil tester T-350. Alat ini bekerja secara otomatis dalam mendeteksi nilai pH maupun nilai suhu pada sampel.

Eweis *et al.* (1998) mengatakan bahwa pertumbuhan mikroorganisme akan meningkat apabila pH berada pada kisaran 6-9. Selama penelitian ini dilakukan, nilai pH pada semua variasi perlakuan menunjukkan angka yang cukup stabil, yaitu berada pada angka 7.

4.2.3 Hasil Analisa Parameter Suhu pada Bioremediasi

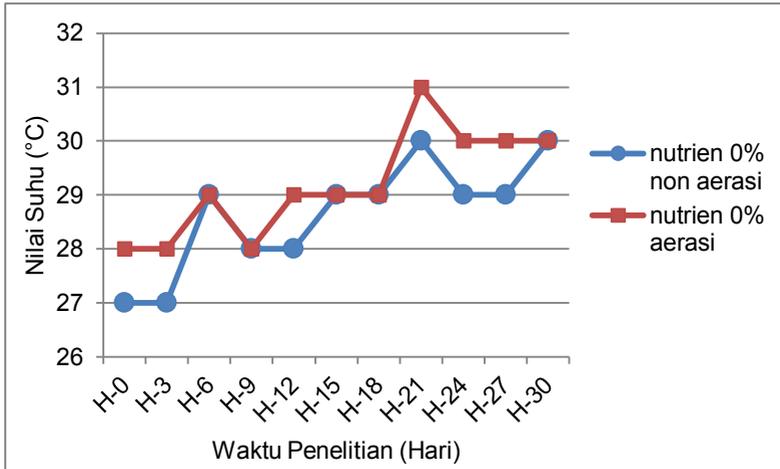
Pengukuran suhu pada sampel tanah juga bertujuan untuk mengetahui dan mengontrol suhu, serta dapat mengetahui pengaruh suhu terhadap proses biodegradasi hidrokarbon minyak bumi pada setiap variasi perlakuan.

Pengukuran suhu dilakukan bersamaan dengan pengukuran pH, yaitu setiap 3 hari sekali selama 30 hari. Pengukuran dilakukan menggunakan alat soil tester T-350 yang juga dapat membaca nilai suhu tanah. Nilai suhu sampel tanah selama penelitian berlangsung dapat dilihat pada Gambar 4.8 – 4.10.

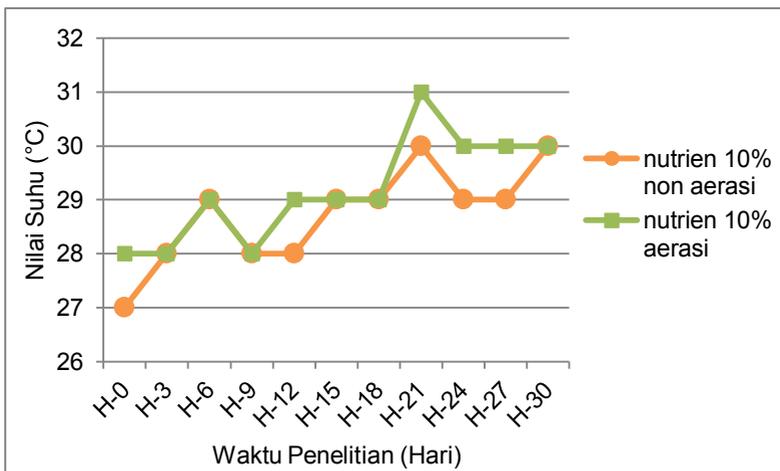
Suhu optimum bagi hampir semua mikroorganisme tanah umumnya pada kisaran 10-40°C. Sedangkan suhu optimum yang diperlukan bagi pertumbuhan bakteri dalam biodegradasi lumpur minyak adalah 20-30°C (Retno dan Mulyana, 2013). Pada penelitian ini, pada 6 variasi perlakuan, suhu tanah berkisar antara 27-31°C. Ini berarti suhu tanah menunjukkan angka yang sesuai dengan suhu optimum untuk mikroorganisme baik dalam pertumbuhan maupun dalam mendegradasi sampel tanah.

Suhu pada sampel reaktor yang diberi aerasi cenderung lebih tinggi dibandingkan dengan suhu pada sampel reaktor non-aerasi. Hal ini dikarenakan adanya suplai oksigen ke dalam reaktor aerasi membuat energi yang dihasilkan dari aktivitas mikroba lebih tinggi sehingga reaktor aerasi menghasilkan suhu

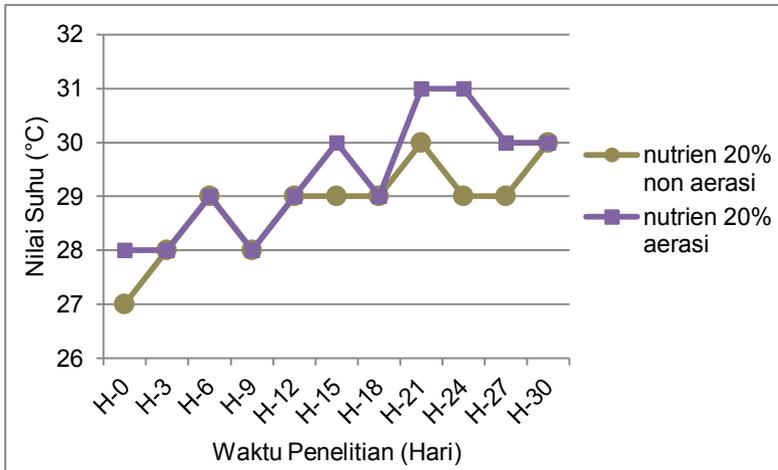
lingkungan yang lebih tinggi dibandingkan dengan reaktor non aerasi.



Gambar 4. 8 Nilai Parameter Suhu pada Variasi Penambahan Nutrien 0% selama Proses Bioremediasi



Gambar 4. 9 Nilai Parameter Suhu pada Variasi Penambahan Nutrien 10% selama Proses Bioremediasi



Gambar 4. 10 Nilai Parameter Suhu pada Variasi Penambahan Nutrien 20% selama Proses Bioremediasi

4.2.4 Hasil Analisa Parameter Total Koloni Mikroba pada Bioremediasi

Pengukuran total koloni mikroba pada sampel tanah bertujuan untuk menghitung dan mengamati koloni mikroba pendegradasi minyak yang terdapat di sampel tanah pada setiap variasi perlakuan. Pengukuran total koloni mikroba sebanyak 2 kali, yaitu pada awal penelitian (hari ke-0 bioremediasi) dan pada akhir penelitian (hari ke-30 bioremediasi).

Ada beberapa cara yang dapat digunakan untuk mengukur atau menghitung jumlah sel yang terdapat pada sampel, diantaranya hitungan mikroskopis, hitungan cawan (*plate count*), dan MPN (*most probable center*). Pada penelitian ini, untuk perhitungan parameter ini digunakan hitungan cawan (*plate count*). Metode hitungan cawan mempunyai prinsip jika sel mikroba yang masih hidup ditumbuhkan pada medium agar, maka sel mikroba akan berkembang biak dan membentuk koloni yang dapat dilihat dan dihitung langsung dengan menggunakan mata telanjang tanpa menggunakan mikroskop (Fardiaz, 1992).

Menurut Cappuccino dan Sherman (2013), dalam metode hitungan cawan (*plate count*) jumlah terbaik koloni yang dapat

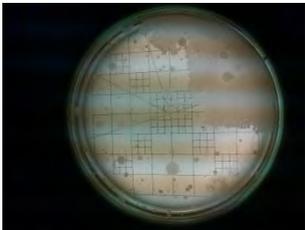
dihitung berkisar antara 30-300 mikroba per mL atau per gram sampel. Jika pada semua pengenceran dihasilkan kurang dari 30 koloni mikroba pada cawan petri berarti pengenceran yang dilakukan terlalu tinggi, begitupun sebaliknya. Oleh karena itu, harus dipilih tingkat pengenceran yang menghasilkan diantara 30-300 koloni.

Sebelumnya terlebih dahulu dibuat media tumbuh untuk mikroba yang dibuat dari media natrium agar (NA). Media NA yang telah dibuat dipindah ke dalam tabung reaksi dan disumbat dengan kapas lemak. Media NA bersama alat-alat yang digunakan disterilisasi di autoclave 121°C selama 1 jam.

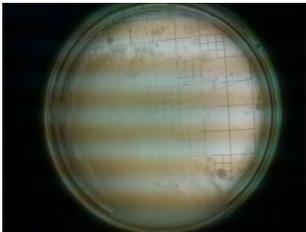
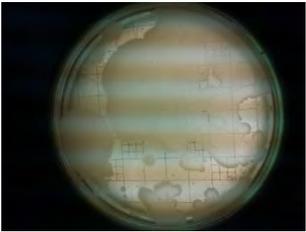
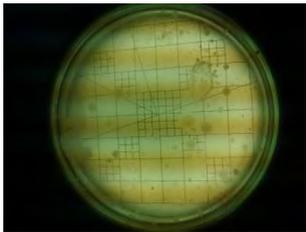
Setelah proses sterilisasi, sampel tanah sebanyak 10 gram dimasukkan ke dalam erlenmeyer 150 ml aquades lalu dishaker selama 1 jam. Sampel tersebut yang akan digunakan untuk menghitung total koloni mikroba pada sampel tanah. Ambil sebanyak 1 ml dengan pipet ukur steril kemudian tuang media NA ke dalam cawan petri. Selama melakukan penelitian ini, dilakukan secara aseptik (dekat dengan api) yang bertujuan untuk meminimalisir bertambahnya mikroba dari lingkungan luar ke dalam media.

Setelah didiamkan ± 15 menit, cawan petri berisi media NA dan sampel dimasukkan ke dalam inkubator 37°C selama 24 jam untuk dihitung total koloni mikroba yang tumbuh dengan *coloni counter* (tata cara perhitungan total koloni mikroba menggunakan metode *plate count* selengkapnya dapat dilihat pada Lampiran 4). Pada Tabel 4.1 merupakan hasil pengamatan total koloni mikroba pada awal penelitian

Tabel 4. 1 Hasil Perhitungan Total Koloni Mikroba Awal Bioremediasi

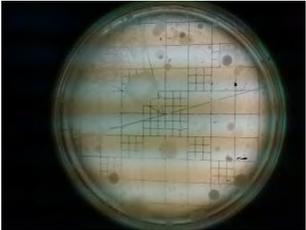
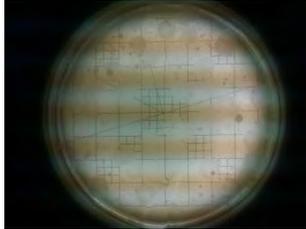
Variasi Perlakuan	Foto Koloni Mikroba	Jumlah Koloni Mikroba (per ml)
Tanah Tercemar Minyak Konsentrasi 12,31 % (b/b)		101 x 10 ⁰

Tabel 4. 2 Hasil Perhitungan Total Koloni Mikroba Akhir Bioremediasi pada Variasi Non Aerasi

Variasi Perlakuan	Foto Koloni Mikroba	Jumlah Koloni Mikroba
Nutrien 0% Non Aerasi		36×10^0
Nutrien 10% Non Aerasi		41×10^0
Nutrien 20% Non Aerasi		66×10^0

Pada awal penelitian, pada Tabel 4.1 dapat dilihat bahwa total koloni yang terhitung sebanyak 101 koloni tanpa adanya pengenceran. Sampel tanpa pengenceran digunakan karena sebelumnya telah dilakukan uji yang sama dengan beberapa pengenceran (10^{-1} sampai dengan 10^{-5}) akan tetapi didapatkan jumlah total koloni yang terhitung belum memenuhi kriteria mengacu pada literatur dari Capuccino dan Sherman (2013).

Tabel 4. 3 Hasil Perhitungan Total Koloni Mikroba Akhir Bioremediasi pada Variasi Aerasi

Variasi Perlakuan	Foto Koloni Mikroba	Jumlah Koloni Mikroba
Nutrien 0% Aerasi		60×10^0
Nutrien 10% Aerasi		30×10^0
Nutrien 20% Aerasi		92×10^0

Pada Tabel 4.3 menunjukkan bahwa total koloni mikroba yang ada pada variasi penambahan aerasi terhitung lebih banyak dibandingkan variasi non aerasi. Pada variasi penambahan nutrisi 10% dan aerasi, total koloni yang terhitung hanya 30 koloni. Hal ini disebabkan tumbuhnya koloni mikroba yang tidak merata dan memenuhi hampir seluruh bagian cawan petri sehingga mempersulit perhitungan dengan *coloni counter*. Tetapi untuk jumlah total koloni mikroba pada seluruh variasi perlakuan menunjukkan jumlah koloni yang baik dan sesuai (antara *range* 30-300 koloni per gram atau per ml sampel).

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Kesimpulan yang didapatkan dari adanya penelitian ini adalah :

1. *Pre-treatment soil washing* dapat menurunkan kandungan total petroleum hidrokarbon (TPH) dalam tanah tercemar sampai dengan 4,55% atau dapat menurunkan konsentrasi minyak hingga menjadi 12,31% (b/b).
Variasi tertinggi penurunan TPH yaitu pengulangan pencucian menggunakan konsentrasi surfaktan 0,02% (v/v) dengan rasio perbandingan tanah dan larutan surfaktan sebesar 50g/L.
2. Pada proses bioremediasi, penambahan nutrisi berupa pupuk NPK berpengaruh terhadap hasil penurunan nilai TPH dalam tanah. Penambahan pupuk NPK sebesar 20% mampu menurunkan kandungan TPH sampai dengan 4,23%.
3. Pada proses bioremediasi, variasi penambahan kadar oksigen (aerasi) tidak berpengaruh signifikan terhadap hasil penurunan nilai TPH dalam tanah dikarenakan nilai signifikansi lebih dari 0,05 ($P > 0,05$).

5.2 Saran

Saran untuk penelitian ini adalah :

1. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut mengenai perlakuan *pre-treatment soil washing* pada pengulangan pencucian lebih diperbanyak (lebih dari 2 kali) untuk mendapatkan nilai optimum penurunan nilai TPH.
2. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut mengenai bioremediasi (biostimulasi) variasi penambahan dengan konsentrasi nutrisi lebih tinggi untuk mengetahui nilai optimum penurunan TPH.
3. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut mengenai bioremediasi (biostimulasi) variasi penambahan kadar oksigen dengan debit yang lebih tinggi untuk mendapatkan hasil degradasi TPH yang lebih signifikan.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

LAMPIRAN 1 DOKUMENTASI PENELITIAN

I. Persiapan Alat dan Bahan



(a)



(b)



(c)



(d)



(e)



(f)

II. Soil Washing



(g)



(h)



(i)



(j)

III. Bioremediasi



(k)



(l)



(m)



(n)



(o)

Keterangan :

- a = media pasir bangunan dan oli motor
- b = pasir dijemur dibawah sinar matahari
- c = pasir diayak dengan ayakan mesh
- d = pupuk NPK
- e = aerator
- f = flow meter (pengukur debit aerator)
- g = hasil soil washing tanah (pencucian awal) variasi 50g/L
- h = hasil soil washing tanah (pencucian awal) variasi 100g/L
- i = hasil soil washing tanah (pencucian ulang) variasi 50g/L
- j = hasil soil washing tanah (pencucian ulang) variasi 100g/L
- k = reaktor bioremediasi tanpa penambahan aerasi
- l = reaktor bioremediasi dengan penambahan aerasi
- m = alat pengukur pH dan suhu (Soil Tester T-350)
- n = pengukuran suhu sampel tanah
- o = pengukuran pH sampel tanah

“Halaman ini sengaja dikosongkan

LAMPIRAN 2

ANALISA TOTAL PETROLEUM HIDROKARBON (TPH) DENGAN METODE GRAVIMETRI

Bahan

- Sampel tanah (tercemar minyak bumi)
- Larutan n-heksan
- Natrium sulfat anhidrat (Na_2SO_4 anhidrat)

Alat

- Neraca Analitik
- Oven
- Desikator
- *Beaker Glass* 100 ml
- Sendok Spatula
- Cawan porselen
- Pipet Ukur
- Kertas saring
- Gelas ukur
- Batang pengaduk

Prosedur Percobaan

1. Sampel tanah tercemar ditimbang sebanyak 5 gram.



2. Sampel tanah dicampurkan dengan 50 ml n-Heksan di dalam *beaker glass* 100 ml.



3. Campuran diaduk selama ± 10 menit dan diamkan sejenak.



4. Campuran disaring dengan kertas saring, residu dibuang sedangkan filtrat ditampung di dalam erlenmeyer lainnya.



5. Filtrat ditambahkan 2 sendok spatula (sekitar 2,5 gram) Na_2SO_4 anhidrat dan diaduk ± 10 menit.



6. Campuran filtrat dan Na_2SO_4 anhidrat kemudian disaring kembali dengan menggunakan kertas saring, residu dibuang sedangkan filtratnya dimasukkan ke dalam cawan porselen yang telah diketahui berat awalnya.



7. Filtrat dioven pada suhu 105°C selama 1 jam (hanya tersisa residu), kemudian dimasukkan ke dalam desikator.



8. Cawan yang berisi residu ditimbang dan dicatat. pengovenan dilakukan kembali hingga di dapat berat yang konstan.



Perhitungan dan Analisa Data

Perhitungan %TPH menggunakan persamaan berikut:

$$\% TPH = \frac{\text{Berat Residu (gram)}}{\text{Berat Sampel (gram)}} \times 100\%$$

LAMPIRAN 3

SOIL WASHING DENGAN METODE JARTEST

Bahan

- Sampel tanah (tercemar minyak bumi)
- Surfaktan Tween-80
- Aquadest

Alat

- Jarrest
- *Beaker Glass* 1000 ml
- Sendok Spatula
- Pipet Ukur 10ml atau 25ml
- Gelas ukur

Prosedur Percobaan

1. Sampel tanah tercemar ditimbang sebanyak 100 gram dan 50 gram.



2. Untuk membuat larutan surfaktan konsentrasi 0,02, ambil 20ml Surfaktan Tween-80 dengan pipet ukur kemudian letakkan di *beaker glass* ukuran 1000 ml. Untuk membuat larutan surfaktan konsentrasi 0,04 ambil surfaktan sebanyak 40ml.



3. Larutkan 20 ml surfaktan dengan aquadest hingga 1000ml kemudian aduk dengan spatula hingga larutan surfaktan tercampur merata.



4. Tuangkan larutan surfaktan ke dalam 50 gram/100 gram tanah (disesuaikan dengan variasi perlakuan)



5. Letakkan sampel tanah yang telah diisi dengan larutan surfaktan ke dalam *paddle* pada alat jartest.



6. Jartest dinyalakan dan disetting dengan kecepatan 300rpm selama 1 jam.



7. Setelah 1 jam, diamkan sejenak hingga tanah turun ke dasar beaker glass kemudian selanjutnya dapat dilakukan analisa TPH.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

LAMPIRAN 4

PERHITUNGAN TOTAL KOLONI MIKROBA DENGAN METODE *PLATE COUNT*

Bahan

- Media Natrium Agar (NA)
- Aquades
- NaCl
- Kertas Coklat
- Kapas Lemak

Alat

- Cawan Petri (*Petridish*)
- Sendok Spatula
- Pipet Ukur 10ml
- Tabung Reaksi
- Beaker Glass 100ml dan 500ml
- Kompor Listrik
- Autoclave

Prosedur Percobaan

1. Menimbang 4,25 gram NaCl kemudian dilarutkan ke dalam 500 ml aquades (dipindahkan ke dalam tabung reaksi @10 ml kemudian disumbat dengan kapas lemak).



2. Menimbang media Natrium Agar sebanyak 1,61 gram kemudian ditambahkan 70ml aquades

$$\frac{70\text{ml}}{1000\text{ml}} \times \frac{23\text{g}}{L} = 1,61 \text{ gram}$$

3. Memanaskan media NA yg telah ditambahkan aquadest di atas kompor listrik sambil diaduk sampai larutan mendidih



4. Menuang larutan NA ke dalam tabung reaksi masing masing sebanyak @10 ml kemudian disumbat dengan kapas lemak.



5. Bungkus semua peralatan yang akan disterilkan dengan kertas coklat (ex : pipet ukur, tabung reaksi, cawan petri, spatula, erlenmeyer berisi aquades 150ml).



6. Dimasukkan ke dalam autoclave 121°C selama 1 jam



7. Mengambil sampel sebanyak 10 gram dan dimasukkan ke dalam erlenmeyer berisi 150ml aquades yang telah disterilkan kemudian *dishaker* selama 1 jam (100-150rpm).



8. Sambil menunggu sampel *dishaker*, panaskan media NA yg telah disterilkan pada kompor listrik hingga mendidih. Hal ini bertujuan untuk membuat media NA yang telah menjadi agar kembali menjadi cair.



9. Jika dilakukan pengenceran, ambil sampel sebanyak 1 ml dengan pipet ukur steril kemudian dimasukkan ke dalam tabung reaksi berisi 9 ml larutan NaCl. Sampel tersebut menjadi pengenceran 10^{-1} . Kemudian ambil kembali 1 ml sampel dari tabung reaksi pertama dan masukkan ke dalam tabung reaksi kedua berisi 9 ml larutan NaCl.

Sampel tersebut merupakan pengenceran 10^{-2} . Langkah yang sama dilakukan untuk pengenceran selanjutnya. Bila tidak dilakukan pengenceran lewat langkah ini.



10. Ambil setiap sampel sebanyak 1 ml dengan pipet ukur steril kemudian ditaruh ke dalam cawan petri. Pengambilan sampel dilakukan secara aseptik.



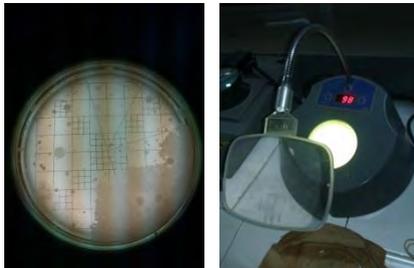
11. Tambahkan media NA steril yang telah didinginkan setelah dipanaskan (suhu sekitar $47-50^{\circ}\text{C}$) ke dalam masing masing cawan petri kemudian digoyang-goyangkan supaya media menyebar dan merata. Penambahan media NA juga dilakukan secara aseptik.



12. Bungkus kembali cawan petri dengan kertas coklat lalu masukkan ke dalam inkubator selama 24 jam.



13. Setelah 24 jam, diamati mikroba yang tumbuh pada media di cawan petri dan dihitung total koloni menggunakan coloni counter.



Perhitungan dan Analisa Data

Perhitungan total koloni mikroba per ml sampel menggunakan persamaan berikut :

$$Total\ Koloni = \frac{jumlah\ koloni\ per\ cawan}{mL\ sampel} \times \frac{1}{faktor\ pengenceran}$$

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

LAMPIRAN 5
DATA HASIL ANALISIS DAN PERHITUNGAN

Data Analisis TPH Awal untuk *Soil Washing*

Berat Sampel (g)	Berat Cawan Kosong (g)	Berat Cawan + Residu (g)	TPH (%)	Rata Rata Nilai TPH (%)
5	35.6017	36.163	11.23	11.83
5	32.9339	33.5494	12.31	
5	29.4966	30.0944	11.96	

Sumber : Hasil Analisa, 2015

Data Hasil Analisis *Soil Washing*

a. Total Petroleum Hidrokarbon (TPH) Pencucian Awal					
Variasi Perlakuan	Berat Sampel (g)	Berat Cawan Kosong (g)	Berat Cawan + Residu (g)	TPH (%)	Efisiensi Penurunan TPH (%)
50g/L – 0	5.0380	33.9287	34.4535	10.42	1.41
50g/L - 0.02	5.0087	35.6022	36.0565	9.07	2.76
50g/L - 0.04	5.0281	32.9436	33.4706	10.48	1.35
100g/L – 0	5.0259	29.4958	29.9984	10.00	1.83
100g/L - 0.02	5.0367	33.4727	33.952	9.52	2.31
100g/L - 0.04	5.0162	25.095	25.5796	9.66	2.17

b. Total Petroleum Hidrokarbon (TPH) Pencucian Ulang					
Variasi Perlakuan	Berat Sampel (g)	Berat Cawan Kosong (g)	Berat Cawan + Residu (g)	TPH (%)	Efisiensi Penurunan TPH (%)
50g/L - 0	5.0250	33.8692	34.4328	11.22	0.61
50g/L - 0.02	5.0182	35.6017	35.9653	7.25	4.59
50g/L - 0.04	5.0297	32.9408	33.4045	9.22	2.61
100g/L - 0	5.0182	29.4958	30.0062	10.17	1.66
100g/L - 0.02	5.039	33.4729	33.8982	8.44	3.39
100g/L - 0.04	5.036	25.0976	25.554	9.06	2.77

Data Hasil Analisis *Soil Washing* (Duplo)

c. Total Petroleum Hidrokarbon (TPH) Pencucian Awal – Duplo					
Variasi Perlakuan	Berat Sampel (g)	Berat Cawan Kosong (g)	Berat Cawan + Residu (g)	TPH (%)	Efisiensi Penurunan TPH (%)
50g/L – 0	5.0052	33.8694	34.3767	10.14	1.70
50g/L - 0.02	5.0024	35.6015	36.0077	8.12	3.71
50g/L - 0.04	5.0071	32.9306	33.4082	9.54	2.29
100g/L – 0	5.006	29.4961	29.9716	9.50	2.33
100g/L - 0.02	5.007	33.4729	33.8992	8.51	3.32
100g/L - 0.04	5.0069	25.098	25.5561	9.15	2.68

d. Total Petroleum Hidrokarbon (TPH) Pencucian Ulang – Duplo					
Variasi Perlakukan	Berat Sampel (g)	Berat Cawan Kosong (g)	Berat Cawan + Residu (g)	TPH (%)	Efisiensi Penurunan TPH (%)
50g/L – 0	5.0072	33.8708	34.3794	10.16	1.67
50g/L - 0.02	5.009	35.602	35.9683	7.31	4.52
50g/L - 0.04	5.0064	32.8814	33.3546	9.45	2.38
100g/L – 0	5.0067	29.4962	29.983	9.72	2.11
100g/L - 0.02	5.0022	33.4726	33.9255	9.05	2.78
100g/L - 0.04	5.0019	25.0995	25.5596	9.20	2.63

Sumber : Hasil Analisa, 2015

Perhitungan Konsentrasi Minyak (b/b) untuk *Spiked Soil* Bioremediasi

- Konsentrasi Minyak (b/b) sebesar 20% → TPH terukur 11,83%
- Penurunan TPH tertinggi pada *Soil Washing* = 4,55%
- TPH tersisa dalam sampel tanah = 11,83% – 4,55% = 7,28%
- Konsentrasi minyak 20% → TPH 11,83%
- Konsentrasi Minyak ?? → TPH 7,28%
- Konsentrasi Minyak ?? = $\frac{20 \times 7,28}{11,83} = 12,31 \%$ (b/b)

- Konsentrasi Minyak (b/b) sebesar 12,31%
Untuk membuat 500 gram *spiked soil* membutuhkan pasir sebanyak 438,5 gram dan oli sebanyak 61,5 gram

Data Analisis TPH Awal untuk Bioremediasi

Berat Sampel (g)	Berat Cawan Kosong (g)	Berat Cawan + Residu (g)	TPH (%)	Rata Rata Nilai TPH (%)
10	31.4036	32.2566	8.53	8.37
10	57.7595	58.5861	8.27	
10	31.426	32.2573	8.31	

Sumber : Hasil Analisa, 2015

Data Analisis TPH Bioremediasi

Hari ke-7 Bioremediasi (1-May-15)					
Variasi Perlakuan	Berat Sampel (g)	Berat Cawan Kosong (g)	Berat Cawan + Residu (g)	TPH (%)	Efisiensi Penurunan TPH (%)
N0% - non aerasi	5.0047	33.8697	34.2284	7.17	1.20
N10% - non aerasi	5.0053	31.4254	31.8269	8.02	0.35
N20% - non aerasi	5.0030	32.9274	33.2904	7.26	1.11
N0% – aerasi	5.0012	29.4962	29.8262	6.60	1.77
N10% – aerasi	5.0042	33.4725	33.8039	6.62	1.75
N20% – aerasi	5.0070	25.0886	25.3879	5.98	2.39

Hari ke-14 Bioremediasi (8-May-15)					
Variasi Perlakuan	Berat Sampel (g)	Berat Cawan Kosong (g)	Berat Cawan + Residu (g)	TPH (%)	Efisiensi Penurunan TPH (%)
N0% - non aerasi	5.0066	33.8698	34.1938	6.47	0.70
N10% - non aerasi	5.0061	31.4335	31.7308	5.94	2.08
N20% - non aerasi	5.0026	32.9235	33.1762	5.05	2.20
N0% – aerasi	5.0009	29.4961	29.7937	5.95	0.65
N10% – aerasi	5.0054	33.4727	33.7231	5.00	1.62
N20% – aerasi	5.0042	25.0896	25.3329	4.86	1.12

Hari ke-21 Bioremediasi (15-May-15)					
Variasi Perlakuan	Berat Sampel (g)	Berat Cawan Kosong (g)	Berat Cawan + Residu (g)	TPH (%)	Efisiensi Penurunan TPH (%)
N0% - non aerasi	5.0073	33.8697	34.1837	6.27	0.20
N10% - non aerasi	5.0086	31.4262	31.6831	5.13	0.81
N20% - non aerasi	5.0053	32.9241	33.1299	4.11	0.94
N0% – aerasi	5.0056	29.4959	29.7876	5.83	0.12
N10% – aerasi	5.0064	33.4727	33.7046	4.63	0.37
N20% – aerasi	5.0069	25.0882	25.3031	4.29	0.57

Hari ke-28 Bioremediasi (22-May-15)					
Variasi Perlakuan	Berat Sampel (g)	Berat Cawan Kosong (g)	Berat Cawan + Residu (g)	TPH (%)	Efisiensi Penurunan TPH (%)
N0% - non aerasi	5.0061	33.8686	34.1506	5.63	0.64
N10% - non aerasi	5.0011	31.4303	31.6824	5.04	0.04
N20% - non aerasi	5.0023	32.9229	33.13	4.14	-0.03
N0% – aerasi	5.0046	29.4958	29.7779	5.64	0.19
N10% – aerasi	5.0028	33.4718	33.709	4.74	-0.11
N20% – aerasi	5.0056	25.0905	25.3069	4.32	-0.03

Variasi Perlakuan	Hari Pengamatan				
	H-0	H-7	H-14	H-21	H-28
N0% - non aerasi	8.37 %	7.17 %	6.47 %	6.27 %	5.63 %
N10% - non aerasi	8.37 %	8.02 %	5.94 %	5.13 %	5.04 %
N20% - non aerasi	8.37 %	7.26 %	5.05 %	4.11 %	4.14 %
N0% – aerasi	8.37 %	6.60 %	5.95 %	5.83 %	5.64 %
N10% – aerasi	8.37 %	6.62 %	5.00 %	4.63 %	4.74 %
N20% – aerasi	8.37 %	5.98 %	4.86 %	4.29 %	4.32 %

Sumber : Hasil Analisa, 2015

Data Hasil Analisis pH Bioremediasi

Variasi Perlakuan	Hari Pengamatan										
	H-0	H-3	H-6	H-9	H-12	H-15	H-18	H-21	H-24	H-27	H-30
N0% - non aerasi	7.0	7.0	7.0	7.0	7.0	7.0	7.0	7.0	7.0	7.0	7.0
N10% - non aerasi	7.0	7.0	7.0	7.0	7.0	7.0	7.0	7.0	7.0	7.0	7.0
N20% - non aerasi	7.0	7.0	7.0	7.0	7.0	7.0	7.0	7.0	7.0	7.0	7.0
N0% – aerasi	7.0	7.0	7.0	7.0	7.0	7.0	7.0	7.0	7.0	7.0	7.0
N10% – aerasi	7.0	7.0	7.0	7.0	7.0	7.0	7.0	7.0	7.0	7.0	7.0
N20% – aerasi	7.0	7.0	7.0	7.0	7.0	7.0	7.0	7.0	7.0	7.0	7.0

Data Hasil Analisis Suhu Bioremediasi

Variasi Perlakuan	Hari Pengamatan										
	H-0	H-3	H-6	H-9	H-12	H-15	H-18	H-21	H-24	H-27	H-30
N0% - non aerasi	27	27	29	28	28	29	29	30	29	29	30
N10% - non aerasi	27	28	29	28	28	29	29	30	29	29	30
N20% - non aerasi	27	28	29	28	29	29	29	30	29	29	30
N0% – aerasi	28	28	29	28	29	29	29	31	30	30	30
N10% – aerasi	28	28	29	28	29	29	29	31	30	30	30
N20% – aerasi	28	28	29	28	29	30	29	31	31	30	30

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

LAMPIRAN 6
DATA HASIL UJI STATISTIK ONE-WAY ANOVA

A. Between-Subjects Factors

	Value Label	N
Nutrien	1 Nutrien 0%	10
	2 Nutrien 10%	10
	3 Nutrien 20%	10
Aerasi	4 Non Aerasi	15
	5 Aerasi	15

B. Descriptive Statistics

Dependent Variable: Hasil

Nutrien	Aerasi	Mean	Std. Deviation	N
Nutrien 0%	Non Aerasi	6.7820	1.04390	5
	Aerasi	6.4780	1.11753	5
	Total	6.6300	1.03201	10
Nutrien 10%	Non Aerasi	6.5000	1.59134	5
	Aerasi	5.8720	1.61120	5
	Total	6.1860	1.54558	10

Nutrien 20%	Non Aerasi	5.7860	1.93066	5
	Aerasi	5.5640	1.71121	5
	Total	5.6750	1.72388	10
Total	Non Aerasi	6.3560	1.51265	15
	Aerasi	5.9713	1.44555	15
	Total	6.1637	1.46685	30

C. Levene's Test of Equality of Error Variances^a

Dependent Variable: Hasil

F	df1	df2	Sig.
1.185	5	24	.346

Tests the null hypothesis that the error variance of the dependent variable is equal across groups.

a. Design: Intercept + Nutrien + Aerasi + Nutrien * Aerasi

D. Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: Hasil

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	5.908 ^a	5	1.182	.502	.772
Intercept	1139.724	1	1139.724	484.214	.000
Nutrien	4.568	2	2.284	.970	.393
Aerasi	1.110	1	1.110	.471	.499
Nutrien * Aerasi	.230	2	.115	.049	.952
Error	56.490	24	2.354		
Total	1202.122	30			
Corrected Total	62.398	29			

a. R Squared = .095 (Adjusted R Squared = -.094)

E. Estimated Marginal Means

Penambahan Aerasi

Dependent Variable: Hasil

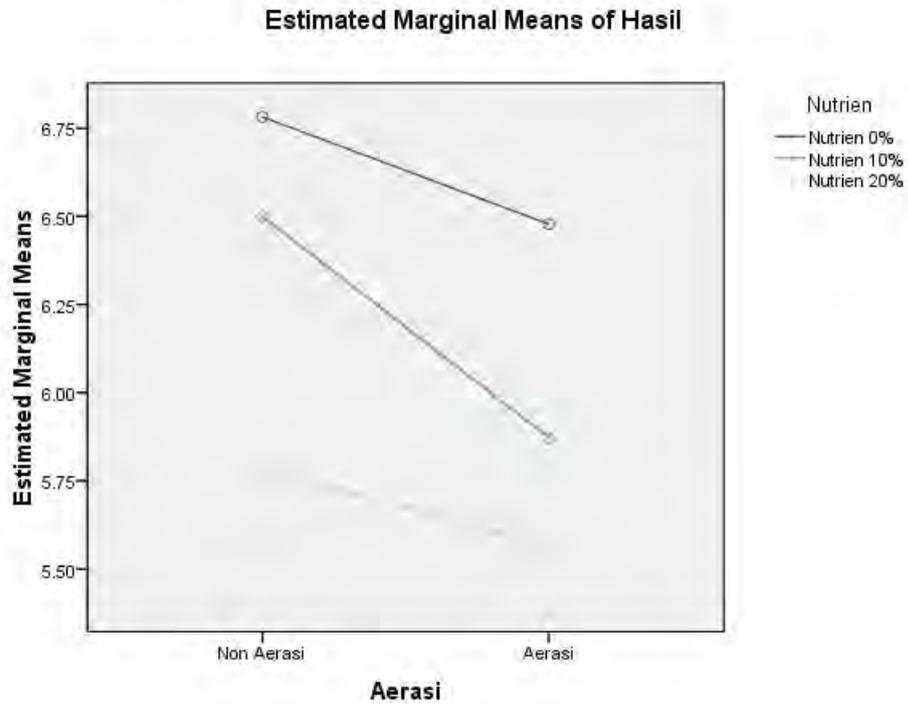
Aerasi	Mean	Std. Error	95% Confidence Interval	
			Lower Bound	Upper Bound
Non Aerasi	6.356	.396	5.538	7.174
Aerasi	5.971	.396	5.154	6.789

Penambahan Nutrien

Dependent Variable: Hasil

Nutrien	Mean	Std. Error	95% Confidence Interval	
			Lower Bound	Upper Bound
Nutrien 0%	6.630	.485	5.629	7.631
Nutrien 10%	6.186	.485	5.185	7.187
Nutrien 20%	5.675	.485	4.674	6.676

F. Profile Plots



“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR PUSTAKA

- Achmad, Rukaesih. 2004. *Kimia Lingkungan Edisi 1*. Yogyakarta : Andi Offset.
- Alexander, Martin. 1994. *Biodegradation and Bioremediation*. United States of America : Academic Press Inc.
- Antizar-Ladislao, B., Beck, A.J., Spanova, K., Lopez-Real, J., Russel, N.J. 2007. *The Influence of Different Temperature Programmes on the Bioremediation of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs) in a coal-tar contaminated soil by invessel composting*. Journal of Hazard Mater. 144 : 340-347.
- Atlas, R.M., Bartha, R. 1985. *Microbial Ecology*. London : Benjamin/Cummings Publising.
- Cappuccino, James G., Sherman, Natalie. 2013. *Microbiology – A Laboratory Manual*. 10th edition. California : Benjamin /Cunnings Science Publishing.
- Charlena., Mas'ud, Zainal Alim., Syahreza, Ahmad., Purwadayu, Asriqa Sary. 2009. *Profil Kelarutan Limbah Minyak Bumi dalam Air akibat Pengaruh Surfaktan Nonionik dan Laju Pengadukan*. Journal Chemistry Progress Institut Pertanian Bogor 2 (2) : 69-78.
- Cookson, John T. 1995. *Bioremediation Engineering*. New York : Mc-Graw Hill.
- Deshpande, S., Shiau, B.J., Wade, D., Sabatini, D.A., Harwell, J.H. 1999. *Surfactant Selection for Enhancing Ex Situ Soil Washing*. Journal of Water Environment Research. 32 (2) : 351- 360.
- Desrina, R. 2012. *Reklamasi Daerah Bencana Semburan Lumpur melalui Remediasi Cuci Lahan*. Lembaran Publikasi Minyak dan Gas Bumi. 46 (3) : 117-123.
- Dewi, Christina M., Mirasari, Dewi M., Antaresti., Irawati, Wenny. 2007. *Pembuatan Kompos secara Aerob dengan Bulking Agent Sekam Padi*. Jurnal Widya Teknik. 6 (1) : 21- 37.
- Dibble, J.T., Bartha, R. 1979. *Effect of Environmental Parameters on the Biodegradation of Oil Sludge*. Journal Applied and Environmental Microbiology. 37 (4) : 729-739.
- Eweis, J.B., Ergas, S.J., Chang, D.P., Schoroeder, E.D. 1998. *Bioremediation Principles*. New York : Mc-Graw Hill.

- Fardiaz, S. 1992. *Mikrobiologi Pangan 1*. Jakarta : Gramedia Pustaka Utama
- Furlong, Clement E. 1998. *Specific Approaches to Bioremediation : Principle and Practice*. USA : Technomic Publishing Inc.
- Hadi, S.N. 2003. *Degradasi Minyak Bumi via Tangan Mikroorganisme*. Artikel Ilmiah. <http://www.chem-is-try.org/?sect=artikel&ext=64>.
- Hafiluddin. 2011. *Bioremediasi Tanah Tercemar Minyak dengan Teknik Bioaugmentasi dan Biostimulasi*. Jurnal Embryo. 8 (1) : 47-52.
- Hardjono, A. 2000. *Teknologi Minyak Bumi Edisi Pertama*. Yogyakarta : Gadjah Mada University Press.
- Karwati. 2009. *Degradasi Hidrokarbon pada Tanah Tercemari Minyak Bumi dengan Isolat A10 dan D8*. Skripsi. Bogor : Institut Pertanian Bogor.
- Kementerian Lingkungan Hidup. 2003. *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*.
- Komarawidjaja, Wage., Lysiasuti, Esi. 2009. *Status Konsorsium Mikroba Lokal Pendegradasi Minyak*. Jurnal Teknik Lingkungan.10 (3) : 347-354.
- Madigan, Michael T., Martinko, John M., Dunlap, Paul V., Clark, David P. 2009. *Brock Biology of Microorganisms 12th edition*. New Jersey : Prentice Hall.
- Makadia, Tanvi H., Adetutu, Eric M., Simons, Keryn L., Jardine, Daniel., Sheppard, Petra J., Ball, Andrew S. 2011. *Re-used of Remediated Soils for Bioremediation of Waste Oil Sludge*. Journal of Environmental Management. 92 : 866-871.
- Mangkoedihardjo, S. 2005. *Seleksi Teknologi Pemulihan untuk Ekosistem Laut Tercemar Minyak*. Seminar Nasional Teori & Aplikasi Teknologi Kelautan ITS Surabaya : 1-9.
- Mangkoedihardjo, Sarwoko., Samudro, Ganjar. 2009. *Ekotoksikologi Teknosfer*. Surabaya : Guna Widya.
- Manik, Karden E.S. 2003. *Pengelolaan Lingkungan Hidup*. Jakarta : Djambatan.

- Notodarmojo, S. 2005. *Pencemaran Tanah & Air Tanah*. Bandung : Institut Teknologi Bandung.
- Nugroho, Astri. 2006. *Biodegradasi Sludge Minyak Bumi dalam Skala Mikrokosmos*. Jurnal Makara Teknologi. 10 (2) : 82-89.
- Nugroho, Astri. 2006. *Bioremediasi Hidrokarbon Minyak Bumi*. Yogyakarta : Penerbit Graha Ilmu.
- Palar, Heryando. 2008. *Pencemaran dan Toksikologi Logam Berat*. Jakarta : Rineka Cipta.
- Pemerintah Republik Indonesia. 1999. *Peraturan Pemerintah No 85 Tahun 1999 tentang Pengelolaan Limbah Bahan Berbahaya dan Beracun*.
- Retno, Tri D.L., Mulyana, Nana. 2013. *Bioremediasi Lahan Tercemar Limbah Lumpur Minyak Menggunakan Campuran Bulking Agents yang Diperkaya Konsorsia Mikroba Berbasis Kompos Iradiasi*. Jurnal Ilmiah Aplikasi Isotop dan Radiasi. 9 (2) : 139-150.
- Sinaga, Agung Putra. 2013. *Perombakan Hidrokarbon dalam Tanah Terkontaminasi Minyak Berat, Minyak Ringan dan Oli Bekas oleh Bacillus sp.* Skripsi. Bogor : Institut Pertanian Bogor.
- Singh. Ajay., Van Hamme, Jonathan., Ward, Owen P. 2006. *Surfactants in Microbiology and Biotechnology : Part 2. Application Aspects*. Journal of Biotechnology Advances. 25 (1) : 99-121.
- Siswanto, Ruskam. 2007. *Tween-80 sebagai Peningkat Kinerja Bakteri Pendegradasi Minyak Bumi*. Tesis. Bogor : Institut Pertanian Bogor.
- Sugoro, I. 2002. *Bioremediasi 'Sludge' Limbah Minyak Bumi Lahan Tercemar dengan Teknik 'Land Farming' dalam Skala Laboratorium*. Tesis Magister. Bandung : Institut Teknologi Bandung.
- Suyasa, I.W.B. 2007. *Isolasi Bakteri Pendegradasi Minyak/Lemak dari Beberapa Sedimen Perairan Tercemar dan Bak Penampung Limbah*. Bali : Pusat Penelitian Lingkungan Hidup Universitas Udayana.
- Thapa, Bijay., Kumar, Ajay K.C., Ghimire, Anish. 2012. *A Review on Bioremediation of Petroleum Hydrocarbon*

- Contaminants in Soil*. Journal of Science, Engineering, and Technology. 8 (1) : 164-170.
- Udiharto, M. 1999. *Penanganan Minyak Buangan secara Bioteknologi*. Makalah Seminar Sehari Minyak Dan Gas Bumi. Jakarta : LEMIGAS.
- Udiharto, M., Rahayu, S.A., Haris, A., Zulkifliani. 1995. *Peran Bakteri dalam Degradasi Minyak dan Pemanfaatannya dalam Penanggulangan Minyak Bumi Buangan. Proceedings Diskusi Ilmiah VII PPTMGB*. Jakarta : Lemigas.
- Urum, Kingsley., Pekdemir, Turgay. 2004. *Evaluation of Biosurfactants for Crude Oil Contaminated Soil Washing*. Journal of Chemosphere. 57 (9) : 1139-1150.
- Urum, Kingsley., Pekdemir, Turgay., Çopur, Mehmet. 2004. *Surfactants Treatment for Crude Oil Contaminated Soils*. Journal of Colloid and Interface Science. 276 (2) : 456-464.
- US EPA. 1999. EPA-821-R-98-002. *Method 1664, Revision A : N-Hexane Extractable Material (HEM; Oil and Grease) and Silica Gel Treated N-Hexane Extractable Material (SGT-HEM; Non-polar Material) by Extraction and Gravimetry*. Washington DC : United States Environment Protection Agency.
- Van Hamme, Jonathan., Singh, Ajay., Ward, Owen P. 2003. *Recent Advances in Petroleum Microbiology*. Journal Microbiology and Molecular Biology. 67 (4).
- Vidali, M. 2001. *Bioremediation : An Overview*. Journal of Applied Chemistry. 73(7) : 1163-1172.
- Wardhana, Wisnu Arya. 2001. *Dampak Pencemaran Lingkungan*. Yogyakarta : Andi Offset.
- Wulan, Praswati P., Gozan, Misri., Arby, Berly., Achmad, Bustomy. 2012. *Penentuan Rasio Optimum C:N:P sebagai Nutrisi pada Proses Biodegradasi Benzena-Toluena dan Scale Up Kolom Bioregenerator*. Jurnal Repository Universitas Indonesia.
- Yulia, Lusiana R., Marsa, Bindanetty., Juliastuti, Sri Rachmania. 2013. *Bioremediasi Air Laut Terkontaminasi Minyak Bumi dengan Menggunakan Bakteri Pseudomonas aeruginosa*. Surabaya : Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

- Zhu, Xueing., Venosa, Albert. D., Suidan, Makram T., Lee, Kenneth. 2001. *Guidelines for the Bioremediation of Marine Shorelines and Freshwater Wetlands*. Cincinnati : United States Environmental Protection Agency.
- Zhyahrial, Faizal F., Rahayu, Sri Y., Yuliani. 2014. *Bioremediasi dengan Teknik Biostimulasi Tanah Tercemar Minyak Bumi dengan Menggunakan Kompos Kombinasi Limbah Media Jamur Tiram Putih (Pleurotus ostreatus) dan Azolla*. Jurnal Lentera Bio. 3 (3) : 141-146.
- Zhang, Y.,Zhu, Y.G., Houot, S., Qiao, M., Nunan, N., Garnier, P. 2011. *Remediation of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons Contaminated Soil Through Composting with Fresh Organic Wastes*. Journal of Environmental Science and Pollution Research International. 18(9) : 1574-1584.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BIODATA PENULIS



Lukman Vyatrawan, lahir di Kota Bontang, Kalimantan Timur pada 15 April 1993. Penulis merupakan anak kedua (dua bersaudara) dari pasangan Abdul Hamid dan Nawastiningsih.

Penulis menempuh pendidikan dasar di SD Vidatra Bontang (1999-2002) dan SDN Japan 04 Kabupaten Mojokerto (2002-2005). Pendidikan berikutnya ditempuh di SMPN 1 Sooko Kabupaten Mojokerto (2005-2008) dan SMAN 1 Kota Mojokerto (2008-2011).

Penulis masuk di Teknik Lingkungan ITS Surabaya pada tahun 2011. Pada masa perkuliahan penulis sempat aktif di beberapa organisasi, yaitu Himpunan Mahasiswa Teknik Lingkungan (HMTL ITS) periode 2012/2013 dan BEM FTSP ITS periode 2013/2014. Penulis telah menjalani kerja praktik di Badak LNG Bontang (Periode Juni-Agustus 2014).

Bila terdapat kritik dan saran yang membangun ataupun segala bentuk komunikasi dengan penulis mengenai tugas akhir ini dapat melalui email **vyatrawan@gmail.com**.