



TUGAS AKHIR - RE 141581

# FITOREMEDIASI TANAH TERCEMAR PELUMAS BEKAS MENGGUNAKAN AKAR WANGI (*Vetiveria zizanioides*)

ALIF YOGA WINATA  
0321144000047

Dosen Pembimbing  
Bieby Vojant Tangahu, S.T., M.T., Ph.D.

DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN  
Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan, dan Kebumihan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2018

Halaman ini sengaja dikosongkan



**TUGAS AKHIR - RE 141581**

**FITOREMEDIASI TANAH TERCEMAR PELUMAS  
BEKAS MENGGUNAKAN AKAR WANGI  
(*Vetiveria zizanioides*)**

**ALIF YOGA WINATA  
0321144000047**

**Dosen Pembimbing  
Bieby Voijant Tangahu, S.T., M.T., Ph.D.**

**DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN  
Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan, dan Kebumihan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember**

Halaman ini sengaja dikosongkan



TUGAS AKHIR - RE 141581

**FITOREMEDIATION OF SPENT LUBRICANTS  
HYDROCARBON-CONTAMINATED SOILS  
USING VETIVER GRASS (*Vetiveria  
zizanioides*)**

ALIF YOGA WINATA  
0321144000047

Supervisor  
Bieby Voiyant Tangahu, S.T., M.T., Ph.D.

DEPARTMENT OF ENVIRONMENTAL ENGINEERING  
Faculty of Civil, Environmental, and Earth Engineering  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Halaman ini sengaja dikosongkan

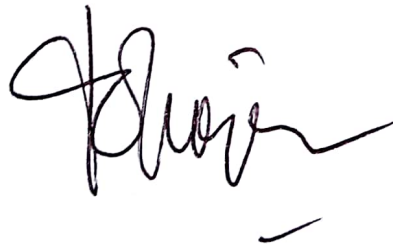
# LEMBAR PENGESAHAN

## **FITOREMEDIASI TANAH TERCEMAR PELUMAS BEKAS MENGUNAKAN AKAR WANGI (*Vetiveria zizanioides*) TUGAS AKHIR**

Diajukan untuk Memenuhi Salah Satu Syarat  
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik  
Pada  
Program Studi S-1 Departemen Teknik Lingkungan  
Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan, dan Kebumihan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:  
**ALIF YOGA WINATA**  
NRP 03211440000047

Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir:



Bieby Voijant Tangahu, S.T., M.T., Ph.D.  
NIP 19710818 199703 2 001







## **FITOREMEDIASI TANAH TERCEMAR PELUMAS BEKAS MENGUNAKAN AKAR WANGI (*Vetiveria zizanioides*)**

Nama Mahasiswa : Alif Yoga Winata  
NRP : 032110000047  
Departemen : Teknik Lingkungan  
Dosen Pembimbing : Bieby Voijant Tangahu, S.T., M.T.,  
Ph.D.

### **ABSTRAK**

Polusi lingkungan yang disebabkan oleh aktivitas industri dan kendaraan telah meningkat pesat. Banyak bengkel-bengkel yang tidak tahu bagaimana cara mengelola sampah mereka. Untuk menyingkirkan masalah mereka, pelumas yang sudah terpakai langsung dibuang di tanah atau daerah perairan. Pengelolaan limbah berbahaya yang buruk dari pelumas yang dihasilkan berdampak pada tercecernya pelumas bekas yang tersebar di tanah dalam jumlah besar. Pelumas bekas mengandung kompleks campuran hidrokarbon yang mempengaruhi tanaman secara merugikan dengan menciptakan kondisi yang membuat nutrisi penting seperti nitrogen dan oksigen yang dibutuhkan untuk pertumbuhan tanaman tidak tersedia bagi mereka dan menyebabkan masalah parah pada ekosistem tanah dan rhizosfer. Efek zat beracun pada organisme, populasi dan komunitas berkisar dari sedang sampai mematikan. Fitoremediasi tanah yang terkontaminasi menawarkan pendekatan ramah lingkungan dan hemat biaya untuk membersihkan polutan beracun di lingkungan.

Tidak seperti teknologi remediasi lainnya, fitoremediasi tidak invasif dan pada prinsipnya mempertahankan proses biologis tanah tetap aktif. Metode ini menggunakan tanaman untuk detoksifikasi, pemulihan dan pemurnian media lingkungan. Kisaran aplikasi fitoremediasi cukup luas mulai dari logam berat hingga polutan organik seperti hidrokarbon minyak bumi. Analisis statistik menunjukkan bahwa penambahan pupuk memiliki efek

positif dan terukur pada kadar klorofil. Pupuk spesifik dapat merangsang pengalihan unsur tertentu, termasuk logam berat, agar lebih tersedia bagi bentuk tanaman dan meningkatkan akumulasi logam di tanaman.

Toleransi yang terhadap berbagai tekanan lingkungan adalah alasan penting untuk penggunaan akar wangi dalam fitoremediasi. Akar wangi dapat bertahan pada rentang suhu antara -14 dan 55 ° C dan bertahan dalam kondisi ekstrim. Akar wangi dapat tumbuh di berbagai tingkat nutrisi dan faktor abiotik yang tidak mencukupi. Telah ditunjukkan bahwa kadar air merupakan faktor yang sangat penting dalam hal pertumbuhan. Dengan tekanan kadar air yang berbeda, hal itu dapat menghasilkan hasil degradasi yang berbeda. Penelitian menunjukkan bahwa kemampuan degradasi pelumas bekas pada konsentrasi 4% oleh akar wangi pada tiap variabel A1 = 19,65%, A2 = 17,78%, A3 = 16,45%, B1 = 21,68%, B2 = 19,37%, B3 = 20,04% dengan kondisi optimal pada penambahan pupuk sebesar 80 gram dan frekuensi penyiraman 1 kali sehari.

**Kata kunci: Pemupukan, Fitodegradasi, Fitoremediasi, Pelumas bekas, Akar wangi, Kelembaban.**

## **FITOREMEDIASI TANAH TERCEMAR PELUMAS BEKAS MENGUNAKAN AKAR WANGI (*Vetiveria zizanioides*)**

Nama Mahasiswa : Alif Yoga Winata  
NRP : 032110000047  
Departemen : Teknik Lingkungan  
Dosen Pembimbing : Bieby Voijant Tangahu, S.T., M.T.,  
Ph.D.

### **ABSTRACT**

Environmental pollution caused by industrial activities and vehicles has increased greatly. Many garageshops do not have any idea how to treat their waste. In this case, to get rid of their problems, spent lubricants are often spilled on the ground or water body. Poor hazardous waste management of spent lubricants results in large proportion of scattered spent lubricant on the ground. Spent lubricant contains complex of mixed hydrocarbon affect plants adversely by creating conditions which make essential nutrients like nitrogen and oxygen needed for plant growth unavailable to them and caused severe problem on soil and rhizosphere ecosystem. The effect of toxic substances on organisms, populations and communities ranges from temporary stress to lethality. Phytoremediation of Contaminated soil offers an eco-friendly, cost-effective approach to cleaning toxic pollutants in the environment.

Unlike other remediation technologies, phytoremediation is not invasive and in principle maintains the biological processes of the soil remain active. This method uses plants to detoxify, restore and purify environmental media. The range of phytoremediation applications is quite extensive ranging from heavy metals to organic pollutants such as petroleum hydrocarbons. Statistical analysis showed that the addition of fertilizer had a positive and measurable effect on chlorophyll levels. Specific fertilizers may stimulate transfer of certain elements,

including heavy metals, to more available to plants forms and enhance accumulation of the metals in the plants.

The tolerance to a wide range of environmental stresses was important reason for the usage of *Vetiveria zizanioides* in phytoremediation. Vetiver could withstand temperature ranges between -14 and 55 °C and survive in many extreme condition. It could grow in various level of insufficient nutrient and severe abiotic factors. It has been shown that moisture content is a very important factor in terms of growth. Both high and low moisture content have adverse effects. Research shows that degradation ability of *Vetiveria zizanioides* on spent lubricant contaminated soil for 4% concentration for every variable A1 = 19,65%, A2 = 17,78%, A3 = 16,45%, B1 = 21,68%, B2 = 19,37%, B3 = 20,04% with optimum condition in addition 80 grams of fertilizer and once a day watering frequency.

**Keyword: Fertilization, Phytodegradation, Phytoremediation, Spent lubricants, Vetiver grass, Moisture content.**

## KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadirat Allah SWT atas limpahan rahmat serta hidayah dari-Nya, sehingga penyusun dapat menyelesaikan laporan tugas akhir ini dengan tepat waktu. Ucapan terima kasih tiada henti penulis berikan kepada kedua orang tua dan adik-adik penyusun atas dukungan moral maupun materiil selama penyusun berada di tanah rantau.

Tugas akhir berjudul “**Fitoremediasi Tanah Tercemar Pelumas Bekas Menggunakan Akar Wangi (*Vetiveria zizanioides*)**” yang dibuat sebagai persyaratan kelulusan program studi sarjana pada Departemen 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 memberikan arahan dan saran terhadap penyelesaian laporan tugas akhir ini.
2. Bapak Prof. Dr. Ir. Sarwoko Mangkoedihardjo, M. ScES., Ibu Ir. Atiek Moesriati, M. Kes. dan Ibu Ipung Fitri Purwanti, S.T., M.T., PhD. selaku dosen pembimbing yang telah memberikan saran dan masukan untuk pembenaran laporan tugas akhir ini.
3. Bapak Ir. Eddy Setiadi Soedjono Dipl. SE., M. Sc, Ph. D. selaku dosen wali penyusun selama menempuh pendidikan sarjana di Teknik Lingkungan ITS.
4. Pak Hadi, Bu lin, Pak Edi selaku laboran pada laboratorium tempat penyusun melaksanakan penelitian.
5. Teman-teman angkatan 2014, terutama teman-teman Laboratorium Sanitasi Lingkungan dan Fitoteknologi yang telah menemani berjuang bersama selama 4 tahun perkuliahan.

Penyusunan laporan tugas akhir ini 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, 28 Juni 2018

Penyusun

## DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN .....	i
ABSTRAK .....	iii
ABSTRACT .....	v
KATA PENGANTAR .....	vii
DAFTAR ISI .....	ix
DAFTAR TABEL .....	xiii
DAFTAR GAMBAR .....	xv
DAFTAR LAMPIRAN .....	xvii
BAB I PENDAHULUAN .....	1
1.1. Latar Belakang Masalah .....	1
1.2. Rumusan Masalah .....	2
1.3. Tujuan .....	2
1.4. Ruang Lingkup .....	3
1.5. Manfaat Penelitian .....	3
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA .....	5
2.1. Pencemaran Tanah .....	5
2.2. Pelumas Bekas .....	5
2.3. Pencemaran Pelumas Bekas .....	7
2.4. Tumbuhan Hiperakumulator .....	8
2.5. Kemampuan Hiperakumulator dalam Proses Fitoremediasi .....	8
2.6. Fitoremediasi Pelumas Bekas .....	9
2.7. Pelarut Organik .....	10
2.8. Proses Degradasi .....	11

2.9.	Proses Penahanan.....	12
2.10.	Proses Transfer.....	12
2.11.	Akar Wangi Sebagai Hiperakumulator.....	13
2.12.	Mekanisme Penyerapan Pencemar oleh Tumbuhan..	15
2.13.	Pemupukan.....	16
2.14.	Kelembaban Tanah.....	17
2.15.	Peran Mikroorganisme.....	18
2.16.	Hubungan Tanaman dengan Mikroorganisme .....	19
<b>BAB 3 METODE PENELITIAN.....</b>		<b>21</b>
3.1.	Kerangka Penelitian.....	21
3.2.	Propagasi dan Aklimatisasi.....	22
3.3.	Range Finding Test.....	24
3.4.	Penelitian Utama.....	24
3.5.	Parameter dan Variabel .....	25
3.6.	Persiapan Alat dan Bahan .....	25
3.7.	Pengumpulan Data .....	27
<b>BAB IV PEMBAHASAN.....</b>		<b>31</b>
4.1.	Karakteristik Media dan Limbah.....	31
4.2.	Penelitian Pendahuluan .....	31
4.2.1.	Propagasi.....	32
4.2.2.	Aklimatisasi.....	32
4.2.3.	Range Finding Test .....	35
4.3.	Penelitian Utama.....	42
4.3.1.	Analisis Laju Pertumbuhan.....	42
4.3.2.	Analisis Fraksi Kering.....	45
4.3.3.	Suhu dan Kelembapan.....	46



4.3.4.	Analisis TPH .....	47
4.3.5.	Peran Mikroorganisme .....	54
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....		59
5.1.	Kesimpulan .....	59
5.2.	Saran.....	59
DAFTAR PUSTAKA .....		61
BIOGRAFI PENULIS .....		99

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

## DAFTAR TABEL

Tabel 3. 1 Matriks Variabel Penelitian.....	25
Tabel 3. 2 Kebutuhan Wadah Untuk <i>Range Finding Test</i> .....	26
Tabel 3. 3 Kebutuhan Wadah Untuk Tahap Penelitian .....	26
Tabel 4. 1 Fraksi Kering C0.....	38
Tabel 4. 2 Fraksi Kering C1.....	39
Tabel 4. 3 Fraksi Kering C2.....	39
Tabel 4. 4 Fraksi Kering C3.....	40
Tabel 4. 5 Fraksi Kering C4.....	40
Tabel 4. 6 Fraksi Kering C5.....	40
Tabel 4. 7 Fraksi Kering Rata-rata pada Uji RFT .....	41
Tabel 4. 8 Tabel Laju Pertumbuhan Tiap Variabel.....	43
Tabel 4. 9 Fraksi Kering Tiap Bagian Tanaman.....	45
Tabel 4. 10 Prosentase Removal Pada Hari Ke-10 .....	48
Tabel 4. 11 Prosentase Removal Pada Hari Ke-20 .....	49
Tabel 4. 12 Prosentase Removal Pada Hari Ke-30 .....	50
Tabel 4. 13 Hasil Pengamatan Koloni Bakteri.....	54

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Akar wangi ( <i>Vetiveria zizanioides</i> ) .....	14
Gambar 3. 1 Kerangka Penelitian .....	22
Gambar 4. 1 Laju Pertumbuhan Rata-rata Daun pada Tahap Aklimatisasi.....	34
Gambar 4. 2 Laju Perpanjangan Rata-rata Akar pada Tahap Aklimatisasi.....	35
Gambar 4. 3 Suhu media tiap konsentrasi pada RFT .....	36
Gambar 4. 4 Tingkat Kematian pada Uji RFT .....	37
Gambar 4. 5 Laju Pertumbuhan per Hari pada Uji RFT .....	38
Gambar 4. 6 Perbandingan Fraksi Kering Tiap Konsentrasi pada Uji RFT .....	41
Gambar 4. 7 Grafik Perbandingan Tiap Tanaman dalam Tiap Variabel.....	44
Gambar 4. 8 Reaktor dan Tanaman Penelitian Utama .....	45
Gambar 4. 9 Grafik Pengukuran Suhu Uji Utama .....	46
Gambar 4. 10 Grafik Pengukuran Kelembaban Uji Utama .....	47
Gambar 4. 11 Perbandingan % Removal Pelumas Bekas .....	48
Gambar 4. 12 Removal A1 Per 10 Hari.....	50
Gambar 4. 13 Removal A2 Per 10 Hari.....	51
Gambar 4. 14 Removal A3 Per 10 Hari.....	51
Gambar 4. 15 Removal B1 Per 10 Hari.....	52
Gambar 4. 16 Removal B2 Per 10 Hari.....	52
Gambar 4. 17 Removal B3 Per 10 Hari.....	53
Gambar 4. 18 Grafik Removal Pelumas Bekas.....	53

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

## DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran A Range Finding Test.....	67
Lampiran B Pengamatan Range Finding Test Hari Ke-7 .....	68
Lampiran C Pengamatan Range Finding Test Hari Ke-14.....	69
Lampiran D Berat Basah Dan Berat Kering .....	70
Lampiran E Penelitian Utama.....	72
Lampiran F Komposit Sampling Dan Ekstraksi Soxhlet.....	74
Lampiran G Data Pengamatan Tinggi Tanaman Pada Aklimatisasi .....	76
Lampiran H Data Pengamatan Panjang Akar Pada Aklimatisasi .....	79
Lampiran I Data Pengamatan Tinggi Tanaman Pada Rft .....	81
Lampiran J Data Pengamatan Panjang Akar Pada Rft.....	84
Lampiran K Data Pengukuran Suhu Reaktor Pada Rft.....	86
Lampiran L Data Pengamatan Tinggi Tanaman Pada Uji Utama.....	87
Lampiran M Hasil Analisis Konsentrasi Pelumas Bekas.....	89
Lampiran N Data Pengukuran Suhu Pada Uji Utama .....	92
Lampiran O Data Pengukuran Kelembapan Media .....	93
Lampiran P Analisis Mikroorganisme .....	94
Lampiran Q Data Hasil Pengamatan Koloni Mikroorganisme....	96

“Halaman ini sengaja dikosongkan”



## **BAB I PENDAHULUAN**

### **1.1. Latar Belakang Masalah**

Semakin berkembangnya industri dan pesatnya pertumbuhan jumlah kendaraan dewasa ini menyebabkan kebutuhan perawatan mesin produksi maupun kendaraan semakin meningkat. Limbah pelumas bekas yang sudah tidak terpakai biasanya tidak dikelola sesuai dengan prosedur, khususnya pada usaha perbengkelan yang tidak memiliki sistem pengelolaan limbah yang baik. Hal ini menyebabkan banyaknya ceceran pelumas bekas yang terbuang ke tanah. Akumulasi dari ceceran tersebut dapat menyulitkan proses degradasi oleh mikroorganisme dalam tanah.

Berdasarkan Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 18 Tahun 1999, pelumas bekas termasuk Limbah Bahan Berbahaya dan Beracun (B3) dari sumber yang tidak spesifik. Pelumas bekas merupakan limbah B3 yang mudah terbakar sehingga bila tidak ditangani pengelolaan dan pembuangannya akan membahayakan kesehatan manusia dan lingkungan.

Minyak pelumas bekas mengandung campuran kompleks hidrokarbon parafin, naftalena, hidrokarbon aromatik dan berbagai kontaminan yang mengandung satu atau lebih komponen seperti endapan karbon, lumpur, logam bekas dan garam logam, pelarut aromatik dan non aromatik, air (seperti air dalam- emulsi minyak), glikol, senyawa antifoaming berbasis silikon, bahan bakar, hidrokarbon aromatik pelumas siklik (PAH) dan bahan aditif minyak pelumas lainnya (Ayoola dan Akaeze, 2012)

Fitoremediasi tanah yang terkontaminasi menawarkan pendekatan ramah lingkungan, dan hemat biaya untuk pembersihan polutan beracun di lingkungan. Tidak seperti teknologi remediasi lainnya, fitoremediasi tidak bersifat invasif dan pada prinsipnya mempertahankan proses biologis tanah tetap aktif. Metode ini menggunakan tanaman untuk mendetoksifikasi, mengembalikan dan memurnikan media lingkungan. Rentang

aplikasi fitoremediasi cukup luas mulai dari logam berat hingga polutan organik seperti hidrokarbon minyak bumi.

Akar wangi (*Vetiveria zizanioides*) adalah spesies tanaman yang mudah didapatkan dan sering diterapkan dalam beragam praktik konservasi tanah dan air dan diyakini menjanjikan potensi kesesuaian yang tinggi untuk fitoremediasi. Aplikasi agronomi seperti irigasi dan pemupukan digunakan untuk memperbaiki kondisi tanaman dan mikroba dalam sistem fitoremediasi.

Penggunaan pupuk sebagai nutrisi dalam proses fitodegradasi memiliki peranan penting sebagai pemenuhan defisit nutrisi yang tidak terkandung dalam polutan. Rasio seimbang komponen mikro maupun makro memudahkan tanaman untuk melakukan proses degradasi.

Tanaman membutuhkan air untuk mempertahankan daya tahan turgiditas dan selnya, dan untuk menjaga agar tanaman tetap dingin dalam cuaca panas. Mereka juga menggunakan air yang diangkut dari akar sebagai media untuk membawa mineral dan nutrisi penting dari tanah ke seluruh bagian tanaman. Tanaman kehilangan sebagian air melalui penguapan, yang disebabkan oleh perbedaan antara tingkat cairan di tanaman dan kelembaban udara. Jika kelembaban udara lebih besar, permukaan tanaman kehilangan sedikit air akibat penguapan, yang menurunkan kebutuhan air dari akar.

## **1.2. Rumusan Masalah**

Berdasarkan pada latar belakang tersebut, maka pada didapatkan rumusan masalah sebagai berikut :

1. Bagaimana kemampuan degradasi pelumas bekas oleh akar wangi pada tanah tercemar pelumas bekas?
2. Bagaimana pengaruh konsentrasi pupuk dan frekuensi penyiraman terhadap kemampuan degradasi akar wangi?

## **1.3. Tujuan**

Tujuan dari penelitian ini sebagai berikut :

1. Menentukan kadar optimum pelumas bekas yang dapat didegradasi oleh akar wangi.
2. Menentukan kemampuan degradasi pelumas bekas oleh akar wangi dalam skala laboratorium.
3. Menentukan kondisi optimum dari kadar pupuk dan frekuensi penyiraman yang diberikan.

#### **1.4. Ruang Lingkup**

Ruang lingkup dari penelitian ini meliputi :

1. Penelitian ini berfokus pada Kemampuan degradasi pada akar wangi.
2. Penelitian ini dilaksanakan di Teknik Lingkungan pada bulan Januari sampai Juli 2018.
3. Media tercemar merupakan tanah tercemar pelumas bekas dengan konsentrasi yang sudah ditentukan di dalam reaktor buatan.

#### **1.5. Manfaat Penelitian**

Manfaat penelitian ini yaitu :

1. Untuk mengetahui kemampuan akar wangi sebagai biodegradator dalam menyerap pelumas bekas.
2. Sebagai rujukan dalam pemilihan tanaman akar wangi sebagai tumbuhan untuk fitoremediasi dengan kadar tertentu pencemaran pelumas bekas pada tanah.

Halaman ini sengaja dikosongkan

## **BAB 2**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1. Pencemaran Tanah**

Tanah memiliki ekosistem mikroorganisme yang melimpah. Keberadaan bakteri pada tanah ataupun rizosfer tumbuhan memiliki peranan penting dalam proses biodegradasi di alam. Nutrien hasil degradasi akan diserap oleh tumbuhan yang merupakan produsen dalam rantai makanan. Zat kimia yang terkandung dalam pelumas yang dapat merusak struktur tanah sehingga mengakibatkan tanaman atau hewan maupun bakteri pengurai yang hidup di tanah tidak dapat hidup di tanah yang sudah terkontaminasi dengan zat kimia dari pelumas tersebut. Apabila proses degradasi terganggu, maka siklus rantai makanan akan terganggu, akibatnya terjadi ketidakseimbangan pada ekosistem lingkungan.

#### **2.2. Pelumas Bekas**

Minyak bekas berbasis mineral adalah campuran kompleks karbon dengan berat molekul rendah dan tinggi (C15-C50) yang terdiri dari hidrokarbon alifatik dan hidrokarbon aromatik, aditif pelumas, logam, dan berbagai senyawa organik dan anorganik. Komposisi kimia dari minyak bekas berbasis mineral yang digunakan sangat bervariasi dan tergantung pada minyak mentah asli, proses yang digunakan selama penyulingan, efisiensi dan jenis mesin minyak pelumas, produk pembakaran bensin, aditif yang ditambahkan ke bahan bakar dan untuk oli asli, dan lamanya waktu oli tinggal di mesin. Minyak biasanya 73-80% berat / berat hidrokarbon alifatik (terutama alkana dan sikloalkana dengan cincin 1-6); 11-15% hidrokarbon monoaromatik; 2-5% hidrokarbon diaromatik; dan 4-8% hidrokarbon poliaromatik (Vasquez-Duhalt 1989).

Minyak mineral memiliki sifat-sifat kimia dan fisika yang mudah dikontrol oleh pabrik maupun instansi yang berwenang. Minyak mineral merupakan bahan tidak beracun, mudah dicampur dengan bahan lain seperti bahan penambah yang

dikenal dengan nama aditif dengan maksud meningkatkan kemampuan unjuk kerjanya (Ardhanie, 2003).

Polisiklik hidrokarbon aromatik (PAHs) mengacu pada keluarga di mana-mana dari beberapa senyawa organik dari luar lingkungan yang terkait secara kimiawi dari berbagai struktur dan dengan tingkat toksisitas yang berbeda. Total petroleum hydrocarbon (TPH) adalah istilah yang diterima secara umum yang menggambarkan berbagai macam senyawa minyak bumi yang berasal dan itu oleh produk. Parameter ini (TPH) mengukur kuantitas kotor produk hidrokarbon minyak bumi yang ada di lingkungan secara umum karena untuk mengukur komponen individual secara terpisah cukup sulit dan tidak praktis (Ogoko, 2014).

Beberapa zat tambahan seperti deterjen berbasis sulfur yang menjaga bahan agar tidak mengendap pada piston mesin lama-kelamaan akan terpecah menjadi lumpur dan terakumulasi pada pelumas motor (Fedak, 2001). Minyak motor bekas juga ditandai dengan konsentrasi PAH yang tinggi. Dominguez-Rosado dan Pichtel (2003) menemukan bahwa kandungan PAH dari minyak motor bekas 34 dan 90 kali lebih tinggi dari minyak baru. PAH merupakan kelompok senyawa dengan seratus lebih zat berbahaya dari polutan organik yang terdiri dari dua atau lebih cincin aromatik leburan benzena (Obini et al., 2013).

Pelumas mesin menjadi terkontaminasi akibat reaksi fisik dan kimia. Logam dari mesin lama-kelamaan mengikis ke dalam pelumas mesin hingga membentuk kotoran. Oksidasi ikatan rantai hidrokarbon membentuk lumpur karena suhu tinggi. Bensin yang tidak terbakar sampai sekitar 5% dari berat total hasil kebocoran dari injektor bahan bakar akan mengkontaminasi minyak (Fedak, 2001). Beberapa aditif seperti deterjen berbasis sulfur ganda yang menyimpan bahan dari penyeteroran pada piston mesin sering kali mulai rusak seperti lumpur dan terakumulasi pada pelumas motor (Fedak, 2001). Minyak motor bekas juga ditandai dengan konsentrasi PAH yang tinggi. Dominguez-Rosado dan Pichtel (2003) menemukan bahwa kandungan PAH dari minyak motor bekas sering antara 34 dan 90 kali lebih tinggi dari minyak baru. PAH milik kelompok lebih dari 100 zat berbahaya dari polutan

organik yang terdiri dari dua atau lebih cincin aromatik leburan benzen (Obini et al., 2013).

### **2.3. Pencemaran Pelumas Bekas**

Tumpahan minyak mungkin mengandung minyak mentah atau produk minyak sulingan seperti minyak bahan bakar dan minyak pelumas. Senyawa beracun dalam minyak mentah terdiri dari berbagai hidrokarbon, senyawa nitrogen-oksigen, senyawa sulfur, dan logam berat, yang dapat menyebabkan efek akut dan kronis pada flora dan fauna (Murakami *et. al.*, 2008)

Minyak mentah dan tumpahan produknya mempengaruhi tanaman secara merugikan dengan menciptakan kondisi yang membuat nutrisi penting seperti nitrogen dan oksigen yang dibutuhkan untuk pertumbuhan tanaman. Telah dicatat bahwa kontaminasi minyak menyebabkan laju perkecambahan yang lambat pada tanaman. Menurut Adam dan Duncan (2002) efek ini bisa jadi karena minyak bertindak sebagai penghalang fisik yang mencegah atau mengurangi akses benih ke air dan oksigen.

Pembersihan tumpahan minyak dan teknik pemulihannya memiliki tingkat kesulitan yang cukup tinggi dan biasanya melibatkan metode mekanis, kimia, dan biologi yang rumit. Biasanya, penghapusan secara mekanis minyak bebas digunakan sebagai strategi efektif untuk pembersihan di lingkungan akuatik dan terestrial; Namun, metode yang diterapkan mahal, membutuhkan personel dan peralatan khusus. Metode lain yang umum digunakan adalah aplikasi bahan kimia seperti dispersan, pembersih, demulsifier, biosurfaktan, dan pengoksidasi tanah. Namun demikian, reagen ini dapat memiliki potensi dampak lingkungan yang berbahaya, yang dapat membatasi penerapannya (Yavari *et. al.*, 2015).

Tanaman di area akuatik dan terestrial dapat terkena kerusakan kimia dan fisik oleh hidrokarbon minyak. Fouling daun tanaman dapat mengurangi fotosintesis dan pengaturan suhu, sementara pelapisan akar dapat mengganggu arsitektur akar dan serapan air dan hara (Khan *et al.*, 2013; Pezeshki *et al.*, 2000). Selain itu, menghambat perkecambahan biji, penurunan produksi biomassa tanaman, dan peningkatan mortalitas tanaman telah

diamati setelah kontaminasi minyak (Merkl *et al.*, 2005; Yang *et al.*, 2009). Di daerah terestrial, karakteristik fisik, kimia, dan biologi tanah dipengaruhi oleh pencemaran hidrokarbon minyak bumi. Senyawa ini menembus makro dan micropores di tanah dan, dengan demikian, membatasi air dan transportasi udara yang akan diperlukan untuk konversi bahan organik (Erdogan dan Karaca, 2011).

Beberapa tanaman dapat membuat kontaminan tidak berbahaya, mengekstrak atau menstabilkan kontaminan di dalam tanah, sehingga membuatnya tidak terserap oleh organisme lain dan mengurangi bahaya lingkungan dalam proses yang disebut fitoremediasi (Cunningham *et al.*, 1996).

#### **2.4. Tumbuhan Hiperakumulator**

Faktor utama konsentrasi nutrien dalam larutan tanah dan transpor ke akar tanaman adalah pH tanah, unsur-unsur pembentukan khelat dan kecepatan penguapan. Akumulasi polutan oleh tumbuhan bergantung pada banyak faktor yaitu :

1. Sifat alamiah tumbuhan, seperti: spesies, kecepatan tumbuh, ukuran dan kedalaman akar, kecepatan penguapan, serta kebutuhan nutrien untuk metabolisme,
2. Faktor tanah, seperti: pH, kandungan dan sifat alamiah zat organik, status nutrien, jumlah ion-ion logam dan anion-anion tertentu seperti fosfat, sulfat, kadar mineral lempung, dan tipe tanah, dan
3. Variabel-variabel lingkungan dan pengelolaan yaitu temperatur, kelembaban, sinar matahari, curah hujan, pemupukan dan lain-lain

#### **2.5. Kemampuan Hiperakumulator dalam Proses Fitoremediasi**

Fitoremediasi didefinisikan sebagai penggunaan tanaman atau tumbuhan untuk menyerap, mendegradasi, menghilangkan, menstabilkan atau menghancurkan bahan pencemar khususnya logam berat maupun senyawa organik lainnya (Moenir, 2010). Pada penelitian fitoremediasi di lapangan ada beberapa persyaratan bagi tanaman yang akan digunakan dalam penelitian



terebut. Tidak semua jenis tanaman dapat digunakan karena tidak semua tanaman dapat melakukan metabolisme, volatilisasi dan akumulasi semua polutan dengan mekanisme yang sama (Santriyana & Dery. 2013).

Tanaman memiliki mekanisme yang berbeda untuk menghilangkan dan / atau degradasi hidrokarbon organik dari tanah yang terkena dampak. Meskipun hanya beberapa proses degradasi yang terjadi langsung di jaringan tanaman, sebagian besar degradasi adalah hasil dari asosiasi kompleks dari akar, eksudat akar, rhizosfer, dan mikroba, yang disebut sebagai rhizoremediation (Cai *et al.*, 2010; Ndimele *et al.*, 2011; Khan *et al.*, 2013). Fisiologi dan biokimia spesifik dari akar tanaman bersama dengan aktivitas mikroorganisme rhizosfer membuat sistem metabolisme tanaman mampu memulihkan *xenobiotic* (zat asing) beracun (Meagher 2000). Kemampuan tanaman untuk remediasi lebih jelas mengetahui bahwa ada lebih dari 100 juta mil dari akar per acre yang menawarkan potensi besar untuk memulihkan area besar kontaminasi permukaan dan kedalaman (Merkl *et al.* 2004; Andersen *et al.*, 2008; Gerhardt *et al.* 2009). Sistem akar tanaman yang lebih tinggi tidak hanya terkait dengan lingkungan tanah tetapi juga dengan komunitas besar mikroorganisme yang aktif secara metabolik. Tanaman hidup menciptakan habitat unik di dan di sekitar akar di mana populasi mikroba jauh lebih tinggi daripada lingkungan tanah bebas akar (Lu *et al.*, 2010).

Proses degradasi, penahanan, dan transfer secara alami adalah mekanisme yang mungkin terjadi dalam fitoremediasi Polihidrokarbon (PHC).

## **2.6. Fitoremediasi Pelumas Bekas**

Berdasarkan penelitian Kuo, *et.al.* (2013), degradasi total hidrokarbon minyak bumi di tanah dan beberapa parameter fisiologis tanaman yang dianalisis berupa panjang tunas dan biomassa. Tumbuhan yang digunakan adalah *Vetiveria zizanioides*, *Bidens pilosa*, *Chloris barbata*, *Indica eleusine*, dan *Imperata cylindrical*. Dari 5 spesies tanaman yang diuji, akar wangi (*Vetiveria zizanioides*) menunjukkan pertambahan biomassa terbesar. Pada penelitian yang dilakukan selama 64 hari dengan

konsentrasi *heavy oil* sebesar 30.000 mg/kg didapatkan persen removal sebesar  $7.058,45 \pm 2.751,45$  mg kg<sup>-1</sup> (80 %), sedangkan pada konsentrasi 100.000 mg/kg didapatkan % removal sebesar  $55.516,79 \pm 7.751,08$  mg kg<sup>-1</sup> (57 %).

Sedangkan dari penelitian Abioye, *et. al.* (2010), fitoremediasi pelumas bekas dilakukan menggunakan *Hibiscus cannabius* pada konsentrasi 1% pelumas bekas didapatkan removal sebesar 60% selama 90 hari. Pada konsentrasi 2,5% didapatkan removal sebesar 55% selama 90 hari.

## **2.7. Pelarut Organik**

Diklorometana, CH<sub>2</sub>Cl<sub>2</sub> (DCM), juga dikenal sebagai metilen klorida, adalah senyawa hidrokarbon alifatik halogen. Merupakan cairan tak berwarna dengan bau eter atau bau manis yang tajam. Uap DCM lebih berat dari pada udara. DCM biasanya stabil, tidak mudah terbakar dan tidak meledak saat bercampur dengan udara.

Produksi pembersih cat, obat-obatan dan proses pelarutan adalah area industri terpenting penggunaan DCM. Penggunaan penting lainnya dari DCM meliputi penghambusan busa dari poliuretan, degreasing logam, pengupasan dan penguraian dalam industri elektronik, sebagai pelarut dalam produksi resin polikarbonat, dalam pembuatan basis film fotografi, dan banyak pembersihan dan penggunaan penipisan lainnya. DCM juga digunakan sebagai bahan ekstraktan alami, pada zat yang sensitif dengan panas seperti *edible fats*, kafein, coklat, dan rempah-rempah (WHO, 2000).

Berdasarkan Mabiki (2013), optimalisasi kondisi ekstraksi dan penapisan fitokimia kulit batang *Synadenium glaucescens* dilakukan secara bertahap untuk mendapatkan hasil tertinggi dan unsur penyusun ekstrak. Ekstraksi berurutan dengan metode Soxhlet dilakukan dengan menggunakan diklorometana dan beberapa pelarut lainnya. Diklorometana memiliki persen ekstraksi lebih tinggi daripada n-heksana maupun petroleum ether sebesar 25%.

## **2.8. Proses Degradasi**

Dikutip dari Brandt (2003), proses degradasi terdiri dari fitodegradasi dan rhizodegradasi.

Fitodegradasi : Dengan menggunakan enzim khusus, tanaman mengambil, menyimpan dan secara biokimia mendegradasi kontaminan menjadi produk yang berkurang kadar bahayanya. Metabolisme diakumulasikan, sehingga berubah menjadi biomassa baru atau dilepaskan dan dipecah lebih lanjut oleh mikroorganisme (ITRC, 1999). Karena kompleksitas interaksi antara tanaman, mikroba, dan lingkungan, selalu ada risiko produksi metabolit toksik yang tak terduga (Siciliano & Germida, 1998). Hanya zat hidrofobik moderat (koefisien partisi air oktanol,  $\log K_{ow} = 0,5-3,0$ ) secara efektif yang diambil oleh tanaman (misalnya BTEX, alifatik rantai pendek) (Schoor et al., 1995). Selain itu, senyawa dengan berat molekul rendah lebih disukai oleh tanaman (Frick et al., 1999).

Rhizodegradasi: Tanaman memainkan peran tidak langsung dalam rhizodegradasi polutan. Dengan memompa oksigen ke akar, dengan pembusukan bahan organik dan pelepasan eksudat, tanaman dapat meningkatkan aktivitas mikroba di sekitar akar mereka (Schnoor et al., 1995). Peningkatan populasi mikroba yang disebabkan oleh tanaman ini disebut sebagai "efek rizosfer" dan diyakini menghasilkan biodegradasi racun yang disempurnakan. Dalam interaksi spesifik, tanaman mengubah perilaku mereka dengan adanya kontaminan. Sebagai tanggapan, mereka menghasilkan eksudat tertentu untuk merangsang mikroorganisme yang menurunkan kontaminan. Interaksi spesifik ini diyakini sebagai strategi bertahan hidup tanaman di tanah yang terkontaminasi.

Dalam kasus interaksi non-spesifik, peningkatan komunitas mikroba muncul dari metabolit tumbuhan. Secara umum, faktor lingkungan memiliki pengaruh yang signifikan terhadap jenis dan kualitas eksudat akar, dan komunitas rizosfer terkait erat dengan komposisi eksudat akar. Transformasi kontaminan oleh enzim akar di rizosfer merupakan proses degradasi lebih lanjut yang diinduksi oleh tanaman.

## **2.9. Proses Penahanan**

Dengan penahanan, tanaman dapat mengurangi atau menghilangkan bioavailabilitas zat beracun.

**Fitoekstraksi:** Akumulasi bahan kimia pada tanaman adalah mekanisme langsung penahanan. Seperti disebutkan di atas, zat hidrofobik moderat ( $\log K_{ow} = 0,5-3,0$ ) dapat diambil oleh tanaman. Selain itu, tingkat akumulasi biasanya meningkat dengan kandungan lipid jaringan tanaman.

**Rhizofiltrasi:** Proses penyerapan pada permukaan akar juga termasuk dalam mekanisme penahanan langsung. Secara khusus, bahan kimia hidrofobik ( $\log K_{ow} > 3.0$ ) akan tertahan.

**Pemompaan organik:** Karena proses transpirasi tanaman, perpindahan ke bawah dari bahan kimia yang larut dalam air dapat bersifat reversibel. Dengan demikian, kontaminan dapat ditahan di dalam zona akar dan dapat dicegah sehingga tidak menyebar. Penggunaan tanaman sebagai "pompa organik" merupakan proses penahanan langsung lebih lanjut.

**Humifikasi:** Penggabungan kontaminan ke dalam bahan organik tanah secara tidak langsung dapat ditingkatkan dengan melepaskan enzim tanaman. Selain itu, bahan tanaman yang membusuk dapat meningkatkan kadar humus tanah dan dapat meningkatkan potensi penggabungan racun dengan bahan organik (Cunningham et al., 1996).

## **2.10. Proses Transfer**

**Fitovolatilisasi:** Setelah pengambilan kontaminan dari tanah, tanaman dapat mengubah kontaminan menjadi volatile dan menguap ke atmosfer. Setelah proses transfer, kontaminan biasanya mengalami fotodegradasi (degradasi di atmosfer) (ITRC, 1999). Namun, polusi atmosfer selanjutnya merupakan risiko potensial (Frick et al., 1999).

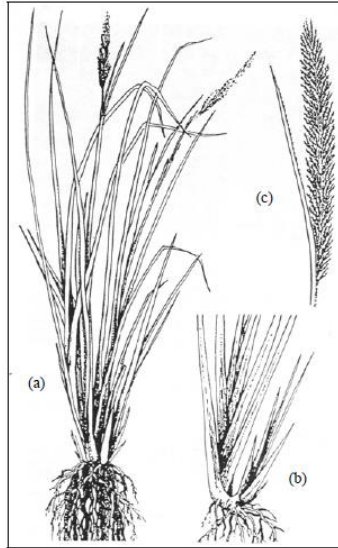
Setelah proses penyerapan dari akar, hidrokarbon dapat mengalami nasib yang berbeda. Beberapa dari hidrokarbon dengan berat molekul rendah dapat dilepaskan ke atmosfer melalui proses transpirasi (phytovolatilization). Namun, senyawa non-volatil dapat diasingkan dalam jaringan akar melalui modifikasi

enzimatik atau disimpan dalam vakuola atau pada dinding sel (fitoakumulasi) (Gerhardt *et al.*, 2009; Haritash dan Kaushik 2009).

Tidak semua jenis tumbuhan dapat digunakan untuk rehabilitasi tempat yang terkontaminasi. Secara khusus, tumbuhan dengan akar yang dalam dan berserat dengan pertumbuhan yang cepat, seperti rumput berguna dalam penerapan fitoremediasi. Selanjutnya, kemampuan tumbuh dalam kondisi stres merupakan karakteristik penting (Siciliano & Germida, 1998). Keuntungan lebih lanjut adalah kemampuan pengikat nitrogen dari jamur atau bakteri simbiotik seperti pada kasus kacang polong (Schnoor *et al.*, 1995). Menggunakan tanaman perennial lebih baik daripada menggunakan tanaman tahunan karena tidak diperlukan penanaman kembali setiap tahun (Aprill dan Sims, 1990).

### **2.11. Akar Wangi Sebagai Hiperakumulator**

Gambaran morfologi membedakan akar wangi adalah sistem akar yang besar dan terstruktur dengan baik. Dalam kondisi optimal, spesies dapat tumbuh dengan sangat cepat, mencapai kedalaman akar hingga 4 m pada tahun pertama. Menunjukkan kekuatan penetrasi yang luar biasa, akar akar wangi mampu melewati tanah yang sulit, termasuk tanah aspal. Karena tanaman tidak memiliki stolon atau rimpang, akar wangi mudah dikendalikan. Biasanya, sistem akar tumbuh lurus ke bawah tanpa bersaing dengan vegetasi di sekitarnya. Oleh karena itu, tanaman ini dapat memenuhi kebutuhannya sendiri di lahan pertanian (Greenfield, 2000).



Gambar 2. 1 Akar wangi (*Vetiveria zizanioides*), dengan gambar (a) tumbuhan keseluruhan (b) perakaran (c) bunga (Brandt, 2003).

Tanaman akar wangi telah dikenal dapat bertahan di daerah dengan curah hujan tahunan sekitar 20 sampai 200 inci. Di bawah 35 inci mereka mungkin membutuhkan kelembaban tambahan, terutama selama musim kemarau diperpanjang. Akar wangi akan tumbuh pada berbagai macam tanah dari pasir hingga lempung berpasir dan tanah liat. Ini akan tumbuh pada asam kuat ke tanah sedikit alkali dengan kisaran pH 4 sampai 7,5. Namun, akar wangi lebih menyukai tanah netral dengan sedikit alkali. Akar wangi juga memiliki menoleransi tanah dengan kadar garam dan berbagai logam berat di dalam tanah.

Menurut Nanakorn et al. (2000), akar-akarnya berikatan padat seperti tirai bawah tanah atau dinding, memungkinkan tanaman mempertahankan air dan kelembaban dan karena itu menciptakan lingkungan yang menguntungkan bagi keragaman mikroorganisme di dalam tanah. Karakteristik akar adalah alasan utama untuk mempelajari potensi tanaman akar wangi sebagai tanaman yang diaplikasikan pada fitoremediasi.

Toleransi yang luar biasa terhadap berbagai tekanan lingkungan adalah alasan penting lainnya untuk penggunaan akar wangi dalam fitoremediasi:

- a. Dalam faktor iklim, akar wangi tidak hanya dapat menahan rentang suhu antara -14 dan 55 ° C, namun juga kekeringan, kebakaran, banjir dan genangan. Setelah terpengaruh oleh kondisi berbahaya yang merugikan, tanaman secara periodik akan membaik (Greenfield, 2000).
- b. Spesies ini menunjukkan toleransi terhadap berbagai tingkat ekstrim dari faktor edafik (faktor abiotik tanah). Penelitian menunjukkan tentang pertumbuhan tanaman Akar wangi dalam kondisi tanah yang buruk. Truong dan Baker (1997) membuktikan toleransi terhadap berbagai pH tanah (3,3 sampai 9,5) dan kadar natrium tinggi (33% Na), kadar magnesium (20 Cmol / kg Mg ) dan salinitas (47,5 mS / cm). Selanjutnya, mereka menunjukkan bahwa Akar wangi dapat hidup pada kadar logam berat yang sangat tinggi di dalam tanah seperti aluminium (68% -87% Al sit.), Arsenik (100-250 ppm), kadmium (20 ppm Cd), tembaga (50- 100 ppm Cu), kromium (200-600 ppm Cr), nikel (50-100 ppm Ni) dan mangan (Mn> 578 ppm).

## **2.12. Mekanisme Penyerapan Pencemar oleh Tumbuhan**

Tangahu et al. (2011) mengatakan bahwa tumbuhan memiliki mekanisme yang efisien untuk memperoleh nutrisi dari lingkungan pada kondisi rendah nutrient kemudian dipindahkan dan disimpan dalam organ tertentu. Mekanisme tersebut juga dilakukan dalam penyerapan zat racun yang memiliki kandungan kimia serupa dengan zat esensial yang dibutuhkan tumbuhan. Proses absorpsi racun termasuk logam berat dapat terjadi melalui beberapa bagian tumbuhan dengan mekanisme translokasi (Soemirat 2003).

### 2.13. Pemupukan

Strategi yang disebut sebagai biostimulation melibatkan suplemen nutrisi dan oksigen ke area yang terkontaminasi untuk stimulasi aktivitas metabolik mikroorganisme. Konsentrasi nutrisi yang cukup (misalnya, nitrogen, fosfor, sulfur, besi) diperlukan untuk penggabungan ke dalam biomassa seluler. Namun, tingkat aplikasi nutrisi yang tinggi terutama dalam bentuk pupuk anorganik dapat menyebabkan toksisitas amonia dan / atau eutrofikasi dan pertumbuhan alga (Lung et al. 1993; Sarkar et al. 2005).

Penambahan pupuk adalah strategi lain untuk meningkatkan degradasi minyak oleh tanaman. Nitrogen dan fosfor sering membatasi faktor dalam proses degradasi hidrokarbon. Oleh karena itu, keseimbangan nutrisi dapat mengurangi persaingan antara tanaman dan mikroorganisme untuk nutrisi dalam tanah yang tercemar minyak dan kemudian meningkatkan tingkat degradasi minyak. Dalam percobaan rumah kaca, efek dari penambahan pupuk terkontrol pada pertumbuhan dan potensi biodegradasi ryegrasses (*L. multiflorum* Lam.) telah dipelajari di tanah berpasir yang terkontaminasi hidrokarbon minyak bumi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa degradasi minyak bumi meningkat pada tanaman yang diolah dengan konsentrasi dari pupuk yang berbeda (Cartmill et al. 2014). Dalam studi lapangan, aplikasi pupuk nitrogen, fosfor, dan kalium (NPK) juga meningkatkan potensi degradasi jagung (*Z. mays*) dan rumput gajah (*Pennisetum purpureum*) hingga 77,5% di tanah pertanian terkontaminasi hidrokarbon minyak bumi. Merkl et al. (2005) mengevaluasi efek tingkat pupuk (200, 300, dan 400 mg.kg<sup>-1</sup> NPK) pada efisiensi fitoremediasi tanah terkontaminasi minyak mentah. Mereka menunjukkan bahwa konsentrasi tertinggi pupuk menyebabkan disipasi minyak tertinggi (10,5%) setelah 14 minggu. Biomassa akar tertinggi *L. multiflorum* Lam. Juga diperoleh di tanah yang terkontaminasi minyak mentah yang diubah dengan pupuk anorganik (White et al. 2003). Lin dan Mendelssohn (1998) menunjukkan bahwa aplikasi pupuk dapat mempercepat degradasi minyak di tanah oleh tanah rawa dari *Spartina alterniflora* dan *Spartina paten*.

Menurut rekomendasi FRICK et al. (1999), peningkatan efektivitas usaha fitoremediasi dapat ditingkatkan dengan



penerapan jumlah pemupukan yang tinggi. Di tanah yang terkontaminasi PHC, rasio C terhadap N sangat meningkat karena minyak bumi kaya akan karbon namun memiliki kandungan nitrogen yang sedikit. Karena itu, nutrisi yang tersedia cepat habis, atau diimobilisasi sebagai hasil degradasi PHC oleh populasi mikroba yang mampu menggunakan sumber karbon minyak. Gejala stres pada tanaman di tanah yang tercemar minyak, berbanding lurus dengan kekurangan gizi ekstrim. Penambahan jumlah nutrisi yang cukup dapat mengurangi persaingan di antara tanaman dan mikroorganisme, dan dapat meningkatkan vitalitas tanaman, aktivitas mikroba dan degradasi PHC.

Menurut USDA, pemupukan disesuaikan dengan hasil uji tanah dan rekomendasi. Di beberapa lokasi, uji tanah dengan rekomendasi pupuk mungkin sulit didapat. Sebagai pengganti uji tanah, rekomendasi pemupukan umum adalah 6,5 pon 15-15-15 per 100 *feet* luas. Pupuk sangat penting untuk pertumbuhan normal, terutama pada tanah yang tidak subur. Kalsium dalam bentuk kapur dan gypsum juga telah terbukti dapat meningkatkan pertumbuhan.

#### **2.14. Kelembaban Tanah**

Dalam kondisi kelembaban yang tinggi, secara keseluruhan mendukung pertumbuhan tanaman. Hal ini biasanya terkait dengan penurunan tekanan air tanaman. Sejumlah laporan menunjukkan bahwa pertumbuhan tanaman lebih tinggi terjadi di lingkungan dengan kelembaban tinggi. Relative water content (RWC; or “turgiditas relatif”) adalah pengukuran status hidrasi (kandungan air sebenarnya) relatif terhadap kapasitas air maksimal pada turgiditas penuh. Turgiditas relatif menyatakan pengukuran “defisit air” dari daun dan dapat menunjukkan tingkat stres yang diekspresikan pada saat bagian tumbuhan mengalami kekeringan dan stres panas (Mullan, 2015).

Konsentrasi kelembaban yang tinggi juga perlu diperhatikan. Penyakit yang berhubungan dengan kelembaban tinggi bisa terjadi pada kondisi kelembaban saat siang atau malam hari, masalah yang ditimbulkan jauh lebih parah jika kondisi kelembaban tinggi terjadi di malam hari. Kelembaban tinggi yang terjadi di siang hari biasanya tidak akan menyebabkan masalah

parah jika daun dari tumbuhan sudah kering ketika memasuki malam hari. Jika kelembaban pada saat malam hari tinggi dan kelembaban pada siang hari rendah, akan lebih sering timbul penyakit pada tanaman (Walker dan Duncan, 1973).

Dikutip dari Brandt (2003), kandungan air tanah medium pada kondisi optimal dan berada pada rentang sebagai 50 sampai 60% dari *holding capacity* air tanah. Dibandingkan dengan eksperimen fitoremediasi lainnya, Bossert & Bartha (1985) menentukan *holding capacity* air 50% dalam lumpur minyak yang terkontaminasi 8,4% (*sandy loam*) yang sesuai untuk mempertahankan kondisi aerobik dalam media. Chaineau et al. (1997) menentukan kelembaban tanah hingga 65%. Kapasitas penyimpanan air bergantung pada tekstur, kandungan bahan organik, koloid dan kepadatan tanah (Kuntze et al., 1994).

Bedasarkan penelitian yang telah dilakukan oleh Brandt (2003), wadah diberikan penyiraman sekitar 100 ml air pada awal percobaan. Kemudian, tingkat irigasi secara bertahap meningkat menjadi maksimal 400 ml air untuk pot yang terkontaminasi limbah petroleum.

### **2.15. Peran Mikroorganisme**

Berbagai metode digunakan untuk mengkarakterisasi populasi penghasil hidrokarbon di tanah. Investigasi biologis dalam tanah, seperti pengukuran respirasi tanah, aktivitas enzim, dan jumlah mikroba, dapat memberikan informasi tentang keberadaan mikroorganisme yang layak dan dampak dari dampak tekanan lingkungan, seperti kontaminasi hidrokarbon, pada aktivitas metabolik tanah.

Beberapa organisme mikroba mampu memecah hidrokarbon minyak menjadi produk yang lebih sederhana melalui proses enzimatik untuk mendapatkan karbon dan energi untuk pertumbuhan (Joutey *et al.*, 2013). Proses-proses ini disebut sebagai biodegradasi. Biodegradasi adalah aktivitas interseluler yang dapat terjadi secara aerobik atau anaerobik (Jagadevan dan Mukherji, 2004). Degradasi anaerobik jauh lebih lambat daripada degradasi aerobik dan tidak menggunakan oksigen melainkan Fe,

Mn, sulfat, dan CO<sub>2</sub> sebagai akseptor elektron. Dalam reaksi ini, hidrokarbon bertindak sebagai donor elektron (Sierra-Garcia dan de Oliveira, 2013). Karena kompleksitas hidrokarbon minyak bumi, jenis mikroorganisme tunggal dengan enzim yang khas tidak dapat melakukan degradasi lengkap. Beberapa identifikasi populasi mikroba asli di tanah atau air yang terkontaminasi minyak bumi telah dilakukan. Biasanya, kerja sama beragam mikroorganisme diperlukan untuk menurunkan hampir semua komponen (Ghazali *et al.*, 2004). Ada sejumlah spesies bakteri, archaea, dan jamur yang terlibat dalam proses biodegradasi (Joutey *et al.*, 2013).

Dikutip dari Umar (2015), mikroorganisme pendegradasi hidrokarbon terdistribusi di semua area perairan dan tanah di mana senyawa tersebut terakumulasi. Distribusi mikroorganisme tersebut menunjukkan kemampuannya dalam menggunakan hidrokarbon sebagai sumber nutrient (Lederberg, 1992). Terdapat 70 genus mikroba yang dapat mendegradasi hidrokarbon. Meliputi 28 genera bakteri, 30 genera fungi, dan 12 genera yeast, akan tetapi bakteri dianggap paling berperan dalam mendegradasi hidrokarbon (Rheinheimer, 1991). Diperkirakan 100 spesies diantaranya adalah genus *Mycobacterium*, *Flaviabacterium*, *Corynebacterium*, *Acinobacterium*, *Brevibacterium*, *Arthobacterium*, *Pseudomonas*, *Bacillus*, *Nocardia* dan *Vibrio*. Beberapa bakteri yang diketahui dapat mendegradasi senyawa PAH (*Polycyclic Aromatic Hydrocarbon*) dalam minyak bumi antara lain *Cycloclasticus*, *Marinobacter*, *Pseudomonas*, dan *Sphingomonas* (Kasai *et al.*, 2002).

## **2.16. Hubungan Tanaman dengan Mikroorganisme**

Sekitar 40% dari hasil fotosintesis tanaman dapat dikeluarkan oleh akar tanaman ke dalam tanah seperti gula, asam organik, dan senyawa aromatik, yang kaya karbon dan energi untuk pertumbuhan mikroorganisme. Eksudat ini dapat memulai respon chemotactic mikroba untuk motilitas menuju akar dan pembentukan kolonisasi akar, yang akibatnya merangsang pertumbuhan dan aktivitas mikroorganisme untuk degradasi polutan organik (Leigh *et al.* 2002; Gerhardt *et al.* 2009). Studi

menunjukkan bahwa setiap spesies memiliki komposisi kimia yang berbeda dan tingkat eksudasi yang memiliki efek yang berbeda pada mikroorganisme. Oleh karena itu, aktivitas degradasi dipengaruhi oleh komposisi individu dari eksudat tanaman (Gleba et al. 1999). Akar tanaman juga mampu menyediakan oksigen untuk mikroorganisme di rhizosfer dan meningkatkan degradasi oksidatif hidrokarbon melalui penetrasi ke dalam tanah dan perbaikan struktur tanah. Produk akhir dari degradasi termasuk alkohol, asam, karbon dioksida, dan air, yang kurang beracun dan kurang persisten dari senyawa utama (Gerhardt et al. 2009).

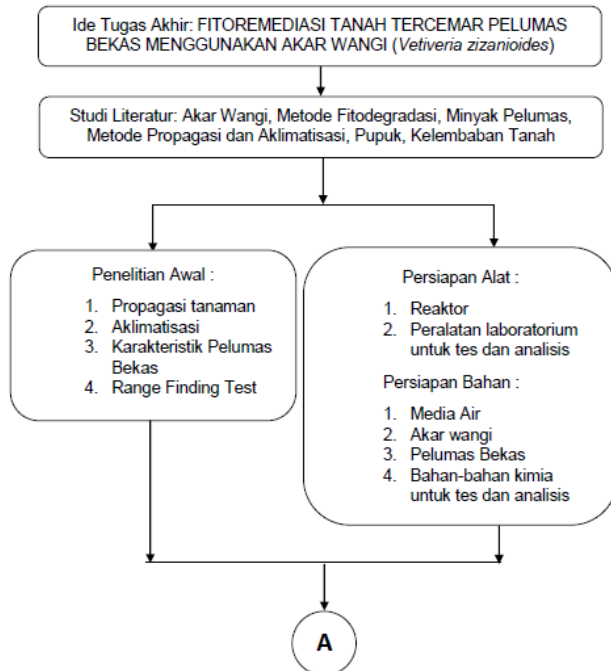
Selain menstimulasi aktivitas mikroba, tanaman juga melepaskan enzim dari akar seperti dehalogenase, nitroreductase, peroxidase, dan laccase yang memainkan peran penting dalam pengurangan kontaminan organik (Alkorta dan Garbisu 2001). Enzim-enzim tersebut berkontribusi dalam mengubah hidrokarbon minyak bumi dengan mengkatalisis reaksi kimia serta pengurangan bioavailabilitas kontaminan melalui mengikat mereka di rhizosfer atau ke dalam bahan organik tanah, yang disebut sebagai fitostabilisasi (Merkl et al. 2005)

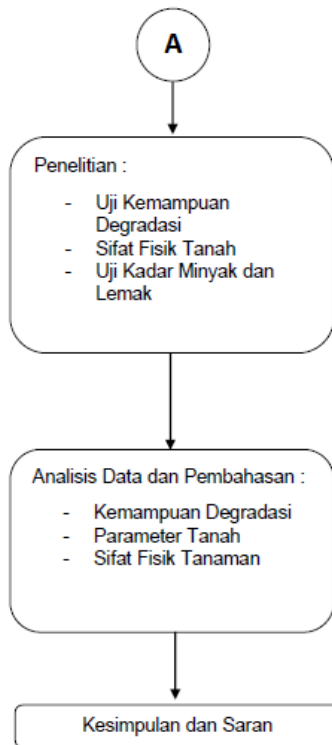
### BAB 3 METODE PENELITIAN

Penyusunan penelitian dilakukan untuk mengetahui kemampuan penyerapan dan akumulasi Pb yang terjadi pada setiap bagian tumbuhan pada skala laboratorium.

#### 3.1. Kerangka Penelitian

Kerangka penelitian merupakan alur proses tahapan penelitian. Penyusunan alur berupa langkah-langkah dalam penelitian ini bertujuan agar mempermudah pelaksanaan penelitian dan sebagai acuan dalam menjalankan penelitian.





Gambar 3. 1 Kerangka Penelitian

### 3.2. Propagasi dan Aklimatisasi

Akar wangi (*Vetiveria zizanioides*) didapatkan dari kebun bibit Surabaya. Indukan diletakkan pada bak propagasi 50 cm x 40 cm x 30 cm dengan media tanah dan pupuk dengan perhitungan sebagai berikut :

Kebutuhan pupuk per 100 feet<sup>2</sup> = 6,5 pon

100 feet<sup>2</sup> = 9,2903 m<sup>2</sup>

Kebutuhan pupuk dalam bak  
pon =  $\frac{0,5 \times 0,4 \times 6,5}{9,2903}$  = 0,14

$$= 63,5 \text{ gram}$$

Propagasi dilakukan hingga mendapatkan tunas generasi pertama. Tunas generasi pertama berumur 14 hari nantinya digunakan sebagai sampel tumbuhan yang digunakan dalam penelitian. Sampel dikondisikan dengan panjang akar dan batang 20 cm agar dapat diukur perbedaan laju pertumbuhan dan perpanjangan akar secara jelas. Pertimbangan penggunaan generasi pertama sebagai sampel karena perbedaan yang tidak terlalu signifikan pada sistem perakaran maupun kandungan senyawa dalam tumbuhan karena teknik pengambilan sampel berupa pemotongan batang induk. Setiap reaktor terdiri dari 3 tanaman yang diberi label T1, T2, dan T3 dengan panjang akar, daun dan jumlah tunas yang sama. Ketiga tanaman tersebut berasal dari indukan yang berbeda, diharapkan laju pertumbuhan dapat bernilai variatif.

Sampel yang telah diperoleh, kemudian diaklimatisasi selama satu minggu pada media pasir dalam wadah yang telah ditambahkan pupuk NPK PHONSKA 15-15-15 dengan konsentrasi melalui perhitungan dengan dasaran dari Joy (2009) sebagai berikut :

$$\text{Kebutuhan pupuk per } 100 \text{ feet}^2 = 6,5 \text{ pon}$$

$$100 \text{ feet}^2 = 9,2903 \text{ m}^2$$

$$\text{Luas wadah} = (0,25 \times 0,25) \text{ m}^2$$

$$= 0,0625 \text{ m}^2$$

$$\text{Kebutuhan pupuk per wadah} = \frac{0,0625 \times 6,5}{9,2903}$$

$$= 0.044 \text{ pon}$$

$$= 0.02 \text{ kg}$$

Pengukuran pH media tanam dilakukan setiap hari, dengan kisaran 6-7. Aklimatisasi bertujuan untuk penyesuaian diri akar wangi dalam lingkungan laboratorium.

### **3.3. Range Finding Test**

Setelah masa aklimatisasi berakhir, sampel tanaman akar wangi yang akan diuji dipilih yang benar-benar sehat (tidak terdapat cacat) dan memiliki kisaran berat antara 90-100 g. Disiapkan media tanam berupa pasir untuk pengujian di dalam wadah. Pelumas bekas didapatkan dari bengkel-bengkel rumah tangga sebanyak 5 liter. Pelumas dicampur kemudian diaduk hingga homogen dan disimpan dalam refrigerator. Pelumas bekas ditambahkan pada wadah dengan konsentrasi masing-masing 3%, 4%, 5%, 6%, 7% dari berat total tanah. Media ditambahkan air sebanyak 100 liter kemudian dicampur secara manual hingga media menjadi homogen. Akar wangi generasi kedua dengan berat 90-100 gram dipotong daunnya sama panjang per sampel kemudian ditanam dan diberi pupuk NPK 15-15-15 sebanyak 20 gram. Tanaman diberi penyiraman sebanyak 100 ml setiap hari hingga 14 hari untuk mendapatkan konsentrasi pelumas bekas yang akan digunakan pada uji utama.

### **3.4. Penelitian Utama**

Disiapkan media tanam berupa pasir untuk pengujian di dalam wadah yang telah ditambahkan pelumas bekas dengan konsentrasi pelumas bekas yang didapatkan dari hasil Range Finding Test. Masing-masing ditambahkan pupuk majemuk NPK PHONSKA 15-15-15 sebanyak 40 g/wadah dan 80 g/wadah. Sedangkan untuk penyiraman, masing-masing dilakukan penyiraman tiap 1 hari, 3 hari, dan 5 hari sekali setiap paginya dengan volume masing-masing 100 mililiter, 167 mililiter dan 500 mililiter per penyiraman. Tanaman yang telah dipilih dimasukkan ke dalam media tanam masing-masing satu tanaman dalam satu wadah. Tanaman dipelihara selama 60 hari dan diamati setiap hari untuk melihat perubahan morfologi yang mungkin terjadi. Perlakuan diulangi sebanyak 3 kali. Pengukuran pH media tanam dilakukan setiap hari, dengan kisaran 6-7.

Setelah masa pengujian sampel berakhir, dilakukan analisis kemampuan degradasi, sifat fisik tanah dan kadar minyak dan lemak. Data kuantitatif diperoleh melalui pengukuran pH, kelembaban dan kandungan C,H,N pada media tanah, dan kadar minyak dan lemak yang tersisa pada tanah. Data kualitatif diperoleh melalui pengamatan morfologi tanaman selama



pengujian. Pengamatan morfologi tanaman dilakukan dengan mengamati dan mencatat perubahan-perubahan yang mungkin terjadi pada daun maupun akar tanaman sebagai respons terhadap kandungan pelumas bekas dan pupuk dalam media tumbuh.

### 3.5. Parameter dan Variabel

Parameter dan variabel yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

- Parameter utama yang diukur adalah kemampuan degradasi pelumas bekas pada tanah.
- Parameter pendukung yang diukur adalah pH, suhu, berat, kelembaban dan morfologi tumbuhan.
- Variabel yang digunakan yaitu :
  - Variabel bebas berupa variasi penyiraman dan variasi konsentrasi nutrisi/pupuk 40 g dan 80 g.
  - Variabel Terikat berupa kandungan minyak dan lemak, sifat fisik tanah dan morfologi pada tumbuhan.
  - Variabel Kontrol berupa wadah tanpa tanaman dengan kontaminan dan konsentrasi pupuk 20 g.

Tabel 3. 1 Matriks Variabel Penelitian

Konsentrasi pupuk	Frekuensi Penyiraman		
	Tiap 1 hari (1)	Tiap 3 hari (2)	Tiap 5 hari (3)
40 g (A)	A1	A2	A3
80 g (B)	B1	B2	B3

### 3.6. Persiapan Alat dan Bahan

- Peralatan yang dibutuhkan yaitu :
  - Reaktor bak propagasi 50 cm x 40 cm x 30 cm
  - Wadah untuk penelitian
  - Penggaris untuk mengukur tumbuhan
  - pH meter dan thermometer
  - Neraca analitik
  - Desikator
  - Oven dengan suhu 105 o C
  - Soxhlet

- Erlenmeyer 250 ml

Kebutuhan wadah :

- Uji *Range Finding Test*

Tabel 3. 2 Kebutuhan Wadah Untuk *Range Finding Test*

Tanpa Polutan	3% (C1)	4% (C2)	5% (C3)	6% (C4)	7% (C5)
1	1	1	1	1	1
1	1	1	1	1	1
1	1	1	1	1	1

Total wadah yang dibutuhkan pada Uji RFT sebanyak 18 wadah.

- Penelitian

Berikut ini adalah tabel perhitungan kebutuhan wadah pada penelitian utama :

Tabel 3. 3 Kebutuhan Wadah Untuk Tahap Penelitian

Konsentrasi pupuk	Frekuensi Penyiraman			Polutan Tanpa Tanaman	Tanaman Tanpa Polutan
	1 hari	3 hari	5 hari		
40 mg N/kg	3	3	3	3	3
80 mg N/kg	3	3	3		

Total wadah yang dibutuhkan pada tahap Penelitian sebanyak 24 wadah.

- Bahan yang dibutuhkan yaitu :
  - Media tanah
  - Akar wangi
  - Pupuk NPK

- Pelumas Bekas
- Larutan HCl
- Larutan diklorometana

### **3.7. Pengumpulan Data**

Pada penelitian utama, akan dikumpulkan beberapa data untuk mendapatkan nilai dari setiap parameter yang telah ditentukan di awal. Pengukuran warna, pH, suhu, berat basah dan berat kering dilakukan saat memasuki tahap uji fito pengolahan. Sedangkan uji kemampuan degradasi dan kadar minyak dan lemak dilakukan sebelum dan sesudah uji fito pengolahan. Berikut adalah beberapa metode pengumpulan dan analisis data untuk setiap parameter pada penelitian ini

- pH

Pengukuran pH dilakukan dengan mengecek kadar keasaman dari media air dengan pH meter. Sebelum pengukuran pH meter dilakukan kalibrasi sehingga didapatkan hasilnya akurat. Pengukuran pH dilakukan setiap 2 hari sekali terhitung sejak penelitian utama dilakukan.

- Suhu dan Kelembaban

Pada pengukuran suhu dan kelembaban akan dilakukan pengukuran langsung pada media di dalam reaktor menggunakan termometer lab. Pengukuran suhu dan kelembaban dilakukan setiap 2 hari sekali terhitung sejak tahap fito pengolahan.

- Sifat Fisik Tumbuhan

Terdapat beberapa proses pengamatan yaitu tinggi tanaman, panjang akar, komparasi rimbun akar, dan banyak rumpun tumbuhan. Pengukuran tinggi tanaman dan rumpun tumbuhan dilakukan setiap 10 hari sekali. Sedangkan pada panjang dan rimbun akar dilakukan pada awal dan akhir penelitian.

- Berat Basah dan Berat Kering

Sampel tanaman diambil dari reactor secara hati-hati agar sistem perakaran tidak putus saat dilakukan pencabutan, sampel

kemudian dipisahkan daun dan tungkulnya dari akar, kedua bagian tersebut masing-masing dibungkus menggunakan aluminium foil yang sebelumnya sudah ditimbang beratnya di neraca analitik. Bagian tanaman dan aluminium foil kemudian ditimbang lagi, sehingga didapatkan berat basah bagian tanaman dengan rumus :

Berat basah (g) = Berat bagian tanaman dan foil (g) – berat foil (g)

Setelah didapatkan berat basah, bagian tanaman bersama foil dimasukkan ke dalam oven 105° selama 24 jam untuk menghilangkan kadar air yang terdapat pada bagian tanaman. Setelah dioven sampel dimasukkan ke dalam desikator selama 15 menit agar mencapai suhu ruangan. Sampel yang dibungkus foil kemudian ditimbang di neraca analitik untuk mendapatkan berat kering bagian tanaman melalui rumus :

Berat kering (g) = Berat bagian tanaman setelah dioven dan foil (g) – berat foil (g)

Kandungan bahan kering (juga disebut fraksi massa bahan kering dalam sistem SI) adalah rasio massa kering terhadap massa segar organ. *The dry matter content* (DMC) dari tumbuhan atau organ tanaman didefinisikan sebagai:

$$DMC = \frac{M_{DM}}{M_{DM} + M_W}$$

Dimana : - MDM = massa materi kering jaringan

- MW = massa air (yang sama dengan volumenya karena densitas air adalah 1 g cm<sup>-3</sup>) (Shipley dan Vu, 2002).

Sebagai contoh perhitungan fraksi kering daun T1 C1 :

$$\text{Fraksi Kering} = \frac{\text{Berat Kering T1 C1}}{\text{Berat Basah T1 C1}}$$

$$= \frac{3,2325 \text{ gram}}{6,2473 \text{ gram}} = 0,517$$

- Konsentrasi Minyak dan Lemak Awal dan Akhir pada Tanah

Media tanah yang diberikan zat pencemar pelumas bekas dipantau pada awal dan akhir untuk mengetahui konsentrasi removal oleh akar wangi pada setiap konsentrasi. Sampel tanah basah diambil sebanyak 20 gram, kemudian di asidifikasi dengan asam klorida (HCl) sebanyak 0.3 ml dengan pH 2 untuk mempercepat proses ekstraksi. Sampel didiamkan selama 1 jam di dalam freezer. Sampel didiamkan selama 30 menit di ruang asam. Erlenmeyer 250 ml ditimbang berat kosong. Sampel dibungkus menggunakan glasswool kemudian dimasukkan ke timbel. Sampel dilarutkan dalam 200 ml kloroform. Dilakukan ekstraksi pada soxhlet selama 2-4 jam. Konten dalam erlenmeyer minyak dan lemak dibiarkan terevaporasi pada suhu 105°C selama 24 jam. Erlenmeyer berisi minyak dan lemak didiamkan di desikator selama 15 menit dan ditimbang berat total di neraca analitik. Uji ekstraksi kadar minyak dan lemak dilakukan setiap 15 hari sekali. Untuk mencari kadar minyak dan lemak pada tanah dapat dihitung melalui rumus sebagai berikut :

$$\text{TOG dalam \% dry weight} = \frac{\text{Pertambahan Nilai dari Erlenmeyer (g)} \times 100}{\text{Berat Sampel Basah (g)} \times \text{Fraksi Kering}}$$

Sebagai contoh berat media basah 20 gram dengan konsentrasi pelumas bekas 4% dari berat total (0,8 gram), setelah dianalisis didapatkan berat minyak sebesar 0,6428 gram. Maka prosentase removal yang dihasilkan sebesar :

$$\begin{aligned} \%r &= \frac{\text{massa pelumas awal} - \text{massa pelumas akhir}}{\text{massa pelumas awal}} \\ &= \frac{0,8 \text{ gram} - 0,6428 \text{ gram}}{0,8 \text{ gram}} = 19,65 \% \end{aligned}$$

Sedangkan untuk menghitung konsentrasi setelah removal dapat dihitung melalui rumus :

$$\begin{aligned}\%TPH &= \frac{\text{massa pelumas akhir}}{\text{berat total media}} \\ &= \frac{0,6428 \text{ gram}}{20 \text{ gram}} = 3,21 \%\end{aligned}$$

- Peranan Mikroorganisme

Mikroorganisme dapat dianalisis dengan perhitungan koloni bakteri. Bakteri diambil dari media tanah tiap sampel sebanyak 20 gram kemudian diencerkan dengan aquades hingga 20 ml. Sampel kemudian diambil 1 ml menggunakan mikropipet dan dilarutkan pada 9 ml larutan NaCl pada tabung reaksi yang telah di *autoclave*. Pelarutan dilakukan hingga 7 kali. Pada 3 pengenceran terakhir diambil sebanyak 0,1 ml menggunakan mikropipet lalu ditetaskan pada media plate nutrient agar yang telah disiapkan. Larutan diratakan pada media kemudian diinokulasi selama 24 jam. Plate agar kemudian dihitung jumlah koloni bakteri.

Perhitungan jumlah koloni dihitung secara satuan, kemudian dikalikan  $10^{x+1}$  dimana x adalah jumlah pengenceran dan ditambah 1 karena sampel yang diambil sebanyak 0,1 ml yang dianggap sebagai 1 kali pengenceran.

## **BAB IV PEMBAHASAN**

Penelitian yang dilakukan untuk mengetahui besarnya nilai persen penyisihan pelumas bekas oleh akar wangi yang dilakukan selama 30 hari.

### **4.1. Karakteristik Media dan Limbah**

Media tanah yang digunakan dalam fitoremediasi lahan tercemar pelumas bekas berupa pasir silika halus (*fine sand*) dan kerikil (*gravel*) dengan perbandingan 3:1. Media tidak ditambahkan campuran tanah karena untuk menghindari adanya mikroorganisme *host* yang sudah mendiami tanah dan asupan karbon atau zat hara selain limbah dan pupuk yang diberikan.

Penggunaan media pasir dan kerikil mempermudah aktivitas akar untuk tumbuh dan memperbesar ruang pori di dalam media agar reactor bersuasana aerobik sehingga mempermudah proses difusi antara udara dengan media, dan menjaga agar mikroorganisme mampu tumbuh dan berkembang biak secara optimal dan bisa menguraikan kandungan pencemar dengan efisiensi tinggi (Harjati, 2001).

Limbah yang digunakan dalam penelitian ini adalah pelumas bekas yang berasal dari produk pertambangan minyak petroleum. Pelumas bekas memiliki laju penguapan rendah dan viskositas tinggi dengan sifat fisik berwarna hitam dan kental. Pelumas bekas merupakan minyak hidrokarbon dengan ikatan rantai karbon dengan panjang C18-C35 (Nyer dan Skladany, 1989). Sampel yang digunakan memiliki densitas sebesar 0,8858 gram/cm<sup>3</sup> nilai viskositas dinamis sebesar 25,6 mm<sup>2</sup>/s pada suhu 37,8°C dengan *flash point* pada suhu 58,5°C.

### **4.2. Penelitian Pendahuluan**

Terdapat tiga langkah dalam penelitian pendahuluan meliputi propagasi, aklimatisasi dan *Range Finding Test* (RFT).

#### **4.2.1. Propagasi**

Akar wangi membutuhkan waktu 10-14 hari untuk membentuk tunas baru dari rumpun indukan secara meluas. Tunas menempel pada indukan kemudian membentuk perakaran muda yang berwarna putih, rentan dan berdiameter lebih besar daripada akar induk utama yang bersifat lebih lentur, berwarna coklat kehitaman dan berdiameter lebih kecil namun kuat.

Tunas baru yang dapat dipindah ke reaktor harus dibiarkan tumbuh selama kurang lebih 14 hari agar pembentukan batang dan akarnya cukup kuat sehingga apabila setelah pemotongan indukan bersama tunas ke reaktor indukan mengalami kematian atau menjadi kering, tunas dapat tumbuh dan mendapat asupan nutrient melalui sistem perakarannya sendiri.

Laju pertumbuhan tunas pada tahap propagasi sebesar 2-2,5 cm. Laju pertumbuhan yang tinggi didukung oleh jangkauan sistem perakaran yang luas, kebutuhan nutrient yang optimal dari tanah, dan rumpun indukan yang kuat dengan distribusi nutrient yang menyeluruh ke seluruh batang.

#### **4.2.2. Aklimatisasi**

Tahap aklimatisasi bertujuan untuk memberikan waktu adaptasi karena perubahan media tanam dari tanah ke pasir silika agar tumbuhan dapat melakukan metabolisme secara optimal ketika Range Finding Test.

Setelah tunas cukup dewasa untuk memenuhi kebutuhannya sendiri, tunas dan indukan dipotong menggunakan gergaji besi. Pemotongan tunas dan indukan menyertakan akar dan tungkul indukan, bagian tersebut berfungsi sebagai pendukung asupan nutrisi dan penopang dari sampel yang akan digunakan pada tahap selanjutnya.

Sampel yang telah dipisahkan dari rumpun indukan kemudian dipotong batang dan sistem perakarannya sehingga didapatkan tinggi batang 20 cm dan panjang akar 20 cm. Perlakuan ini bertujuan untuk menyetarakan seluruh sampel



sehingga didapatkan perbedaan panjang yang dapat dibandingkan secara kuantitatif. Pada tahap ini pelumas bekas belum dipaparkan ke dalam reaktor. Penambahan pupuk NPK 15 dilakukan untuk memenuhi kebutuhan nutrisi penting bagi mikroba dan tanaman, yaitu nitrogen, fosfor dan kalium (Vyatrawan, 2015). Berikut adalah konsentrasi dari pupuk yang ditambahkan pada media :

$$\text{Kadar N} = 15\%$$

$$\text{Konsentrasi N : P : K} = 1 : 1 : 1$$

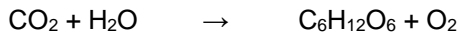
$$\begin{aligned}\text{Konsentrasi N} &= \frac{\text{Kadar N} \times \text{berat pupuk}}{100 \% \times \text{berat media}} \\ &= \frac{15\% \times 20 \text{ gram}}{100 \% \times 12 \text{ kg}} \\ &= 0,025 \text{ gram/kg} \\ &= 25 \text{ mg/kg}\end{aligned}$$

(Joy,2009)

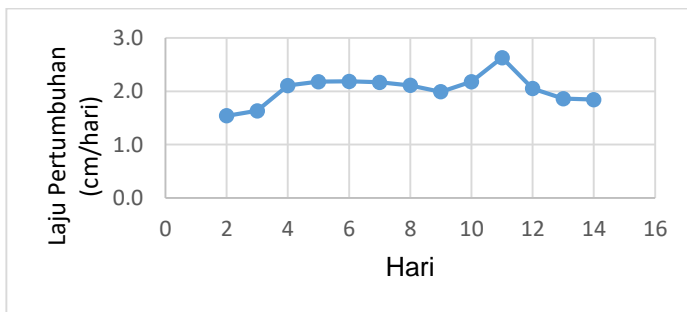
Pengamatan selama 14 hari didapatkan data berupa kondisi fisik sampel sehat yang dibuktikan dengan warna daun muda yang berwarna hijau muda dan daun dewasa berwarna hijau muda, pucuk daun tidak layu dan tidak ada daun muda yang menguning. Aklimatisasi juga berfungsi untuk memberi waktu bakteri rhizobakteria dalam membentuk koloni yang akan membantu dalam degradasi pelumas bekas. Bakteri seperti ini umumnya disebut sebagai *Plant Growth-Promoting Rhizobacteria* (rhizobakteria yang membantu pertumbuhan tanaman). Efek menguntungkan dari rhizobakteria ini pada pertumbuhan tanaman dapat terjadi secara langsung atau tidak langsung. Tinjauan ini dimulai dengan menggambarkan kondisi di mana bakteri hidup di rhizosfer. Untuk mengerahkan efek menguntungkannya, bakteri biasanya harus mengkolonisasi permukaan akar secara efisien (Lugtenberg & Kamilova, 2009).

Ketika rhizosfer telah mencapai fase optimum, rhizobakteria dapat membantu tanaman dalam pemecahan rantai

karbon dari pelumas bekas yang selanjutnya akan menjadi sumber karbon bagi tanaman. Media pasir tidak memiliki kandungan hara, sehingga kebutuhan nutrisi tanaman sangat bergantung pada pupuk dan hasil pemecahan molekul pelumas bekas rhizobakteria, walaupun media tidak memiliki kandungan karbon, tanaman tetap mendapatkan asupan karbon untuk proses fotosintesis dengan mengambil CO<sub>2</sub> di udara dengan persamaan sebagai berikut :



Pengamatan fisik melalui data kuantitatif yang dapat dilihat pada lampiran G, bagian tumbuhan yang diukur adalah daun dan akar dengan pertimbangan tanaman berdaun sejajar, sehingga tinggi tanaman dapat dilihat berdasarkan panjang daun, dan panjang akar menunjukkan bahwa terdapat aktivitas tanaman dalam mendapatkan air dengan adanya gangguan dari pelumas bekas. Laju pertumbuhan rata-rata pada daun berturut-turut C0 (0%) = 1,952 cm/hari, C1 (3%) = 1,667 cm/hari, C2 (4%) = 1,738 cm/hari, C3 (5%) = 2,474 cm/hari, C4 (6%) = 1,443 cm/hari, dan C5 (7%) = 2,069 cm/hari. Dari data tersebut didapatkan grafik rata-rata laju pertumbuhan daun sampel per harinya pada Gambar 4.1 :

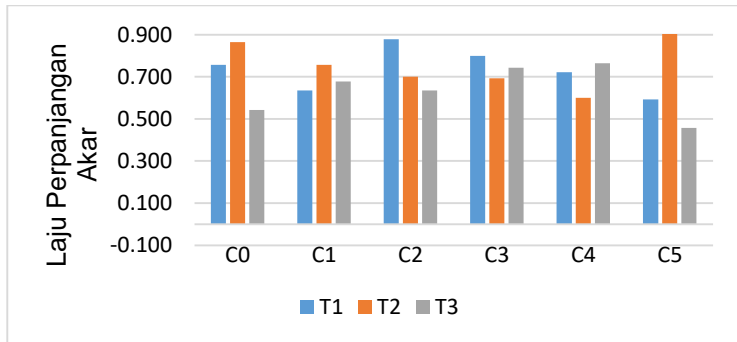


Gambar 4. 1 Laju Pertumbuhan Rata-rata Daun pada Tahap Aklimatisasi

Data lengkap laju pertumbuhan tanaman dan perpanjangan akar dapat dilihat pada Lampiran G dan Lampiran H. Berdasarkan grafik di atas, laju pertumbuhan paling rendah

terjadi pada hari ke-2 sebesar 1,539 cm, dan laju pertumbuhan tertinggi terjadi pada hari ke-11 sebesar 2,625 cm.

Sedangkan untuk didapatkan diagram rata-rata laju perpanjangan akar per hari konsentrasi yang dapat dilihat pada lampiran H dengan hasil pada Gambar 4.2 :



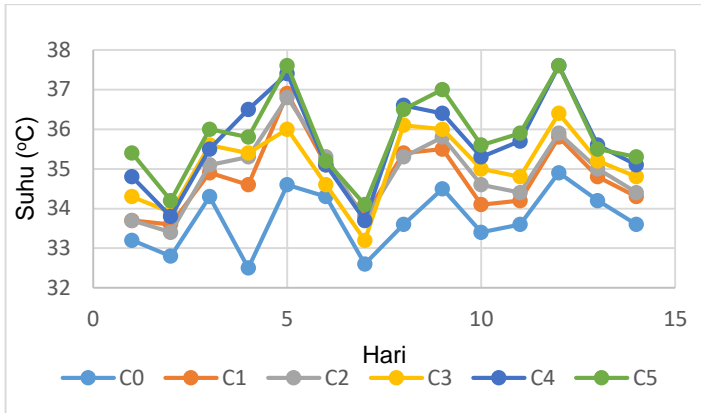
Gambar 4. 2 Laju Perpanjangan Rata-rata Akar pada Tahap Aklimatisasi

Berdasarkan diagram di atas, laju pertumbuhan ketiga tanaman pada reaktor yang sama dijumlahkan kemudian dirata-rata, sehingga didapatkan nilai perpanjangan akar rata-rata tiap konsentrasi berturut-turut C0 = 0,721 cm/hari, C1 = 0,690 cm/hari, C2 = 0,738 cm/hari, C3 = 0,745 cm/hari, C4 = 0,695 cm/hari, C5 = 0,674 cm/hari.

Dari data keseluruhan pada tahap aklimatisasi didapatkan hasil laju pertumbuhan dan perpanjangan akar berturut-turut sebesar 1,890 cm/hari dan 0,711 cm/hari untuk tiap sampel tanaman.

#### 4.2.3. Range Finding Test

Pada RFT didapatkan hasil pengamatan suhu dapat dilihat pada Lampiran K, hasil yang didapatkan dapat dilihat pada Gambar 4.3 :



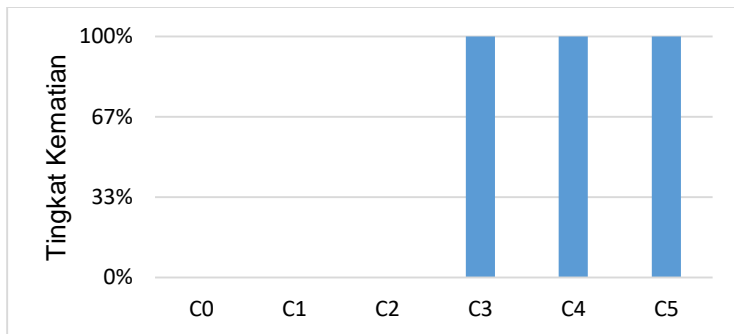
Gambar 4. 3 Suhu media tiap konsentrasi pada RFT

Berdasarkan Gambar 4.3, didapatkan kecenderungan bahwa peningkatan konsentrasi dari pelumas bekas berpengaruh pada peningkatan suhu pada media. Peningkatan konsentrasi dari pelumas bekas mempergelap warna media setelah tercampur dengan polutan, Warna hitam yang dimiliki oleh pelumas bekas membuat intensitas penyerapan cahaya lebih tinggi dan menyebabkan suhu media yang terpapar polutan menjadi tinggi. Meskipun suhu tertinggi mencapai 37°C, mikroorganisme mesofilik masih dapat bekerja karena suhu optimum untuk melakukan metabolisme berkisar 25 °C - 40 °C (Ardhanie, 2003).

Penyiraman pada RFT diberikan sebesar 300 ml per hari untuk masing-masing reaktor. Air memiliki laju evaporasi yang lebih tinggi daripada pelumas bekas. Sedangkan minyak berat atau residu hanya akan kehilangan sekitar 5% dari volume mereka dalam beberapa hari pertama setelah tumpahan (Fingas, 1995). Pelumas bekas juga membuat ikatan dengan air sehingga membentuk microfilm maupun makrofilm yang mencegah proses evaporasi berjalan optimal. Pelumas bekas memiliki tingkat evaporasi yang sangat lambat dan tidak dapat bercampur dengan air. Berat jenis minyak yang lebih ringan daripada air, minyak berada di atas air, dan membuat lapisan yang sangat tipis, Ketika

minyak menutupi air maka tingkat evaporasi molekul air menurun. Hal ini dibuktikan dengan meluapnya air dan pelumas bekas hingga permukaan tanaman pada reaktor 6% dan 7%.

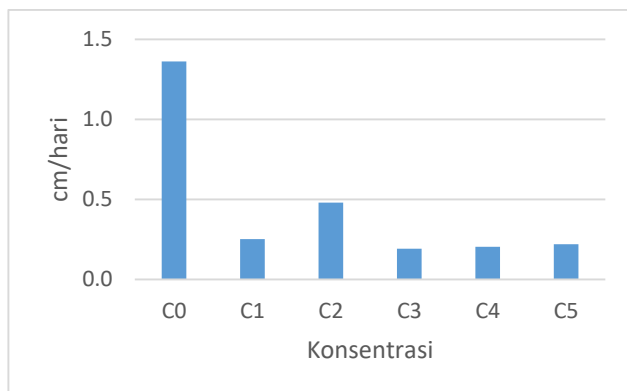
Hasil RFT menunjukkan bahwa akar wangi mampu tumbuh dengan baik pada konsentrasi pelumas bekas sebesar 4% dari total berat tanah. Pada konsentrasi tersebut akar wangi tidak menunjukkan perubahan morfologi dan dapat tumbuh dengan baik. Pada konsentrasi 3% tanaman dapat tumbuh namun tidak optimal, hal ini ditandai oleh sebagian daun yang menguning dan pucuk daun layu. Pada konsentrasi 5%, ketiga tanaman mulai menguning pada hari ke-7, dan mengalami kematian berturut-turut T1 pada hari ke-14, T2 pada hari ke-13, dan T3 pada hari ke-10 dengan tingkat kematian sebesar 100%. Konsentrasi 6% menyebabkan tanaman menguning pada hari ke-4, dan mengalami kematian berturut-turut T1 pada hari ke-9, T2 pada hari ke-11, dan T3 pada hari ke-7 dengan tingkat kematian sebesar 100%. Sedangkan pada konsentrasi 7% tanaman menguning dan layu pada hari ke-4 dan ketiga tanaman mengalami kematian pada hari ke-6. Sehingga didapatkan tingkat mortalitas pada uji RFT pada Gambar 4.4:



Gambar 4. 4 Tingkat Kematian pada Uji RFT

Berdasarkan data pengamatan pertumbuhan panjang daun dan akar pada akar wangi yang dapat dilihat pada Lampiran

I dan Lampiran J, hasil laju pertumbuhan daun pada 3%, 4%, 5%, 6% dan 7% dapat dilihat melalui Gambar 4.5 :



Gambar 4. 5 Laju Pertumbuhan per Hari pada Uji RFT

Rata-rata pertumbuhan dari ketiga tanaman pada tiap konsentrasi berturut-turut adalah C0 = 1,362 cm/hari, C1 = 0,252 cm/hari, C3 = 0,194 cm/hari, C4 = 0,205 cm/hari, C5 = 0,220 cm/hari.

Hasil rasio pertambahan panjang akar pada 3%, 4%, 5%, 6% dan 7% masing-masing sebesar 0,473; 0,333; 0,377; 0,380; 0,268; dan 0,237.

Pada akhir uji RFT dilakukan pengukuran berat basah dan berat kering untuk bagian daun dan akar tanaman, hal ini dilakukan untuk mengetahui fraksi kering dari tanaman.

Tabel 4. 1 Fraksi Kering C0

Tumbuhan C0	Bagian	Berat Basah	Berat Kering	Fraksi Kering
T1	Daun	10.790	6.615	0.613
	Akar	4.143	0.786	0.190
T2	Daun	8.211	3.384	0.412

<b>Tumbuhan C0</b>	<b>Bagian</b>	<b>Berat Basah</b>	<b>Berat Kering</b>	<b>Fraksi Kering</b>
	Akar	8.573	4.076	0.476
T3	Daun	9.287	4.630	0.498
	Akar	1.881	0.296	0.157

Tabel 4. 2 Fraksi Kering C1

<b>Tumbuhan C1</b>	<b>Bagian</b>	<b>Berat Basah</b>	<b>Berat Kering</b>	<b>Fraksi Kering</b>
T1	Daun	6.247	3.233	0.517
	Akar	4.676	1.642	0.351
T2	Daun	12.328	8.554	0.694
	Akar	3.157	0.671	0.213
T3	Daun	5.280	3.521	0.667
	Akar	0.862	0.226	0.262

Tabel 4. 3 Fraksi Kering C2

<b>Tumbuhan C2</b>	<b>Bagian</b>	<b>Berat Basah</b>	<b>Berat Kering</b>	<b>Fraksi Kering</b>
T1	Daun	15.251	8.674	0.569
	Akar	16.925	5.616	0.332
T2	Daun	5.220	3.232	0.619
	Akar	4.780	2.003	0.419
T3	Daun	14.544	8.981	0.617
	Akar	4.828	1.766	0.366

Tabel 4. 4 Fraksi Kering C3

<b>Tumbuhan C3</b>	<b>Bagian</b>	<b>Berat Basah</b>	<b>Berat Kering</b>	<b>Fraksi Kering</b>
T1	Daun	6.403	4.094	0.639
	Akar	2.321	1.232	0.531
T2	Daun	16.995	12.564	0.739
	Akar	10.433	7.940	0.761
T3	Daun	6.484	3.864	0.596
	Akar	9.386	5.874	0.626

Tabel 4. 5 Fraksi Kering C4

<b>Tumbuhan C4</b>	<b>Bagian</b>	<b>Berat Basah</b>	<b>Berat Kering</b>	<b>Fraksi Kering</b>
T1	Daun	6.030	3.689	0.612
	Akar	3.586	2.538	0.708
T2	Daun	4.158	2.966	0.713
	Akar	3.114	1.887	0.606
T3	Daun	7.794	5.368	0.689
	Akar	4.968	2.846	0.573

Tabel 4. 6 Fraksi Kering C5

<b>Tumbuhan C4</b>	<b>Bagian</b>	<b>Berat Basah</b>	<b>Berat Kering</b>	<b>Fraksi Kering</b>
T1	Daun	11.836	7.813	0.660
	Akar	4.506	2.440	0.541



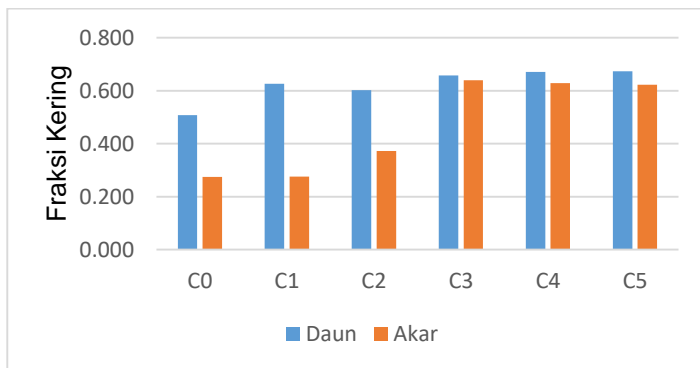
T2	Daun	6.213	4.152	0.668
	Akar	0.951	0.711	0.748
T3	Daun	8.139	5.638	0.693
	Akar	2.600	1.509	0.580

Dari tabel di atas didapatkan fraksi kering rata-rata dari ketiga sampel tanaman per konsentrasi pada tabel :

Tabel 4. 7 Fraksi Kering Rata-rata pada Uji RFT

Keterangan	C0	C1	C2	C3	C4	C5
Daun	0.508	0.626	0.602	0.658	0.671	0.674
Akar	0.274	0.275	0.372	0.639	0.629	0.623

Sehingga dapat diketahui perbandingan fraksi kering tiap bagian tanaman rata-rata dari tiap konsentrasi melalui diagram batang pada Gambar 4.6:



Gambar 4. 6 Perbandingan Fraksi Kering Tiap Konsentrasi pada Uji RFT

Berdasarkan tabel dapat dilihat bahwa pada sampel tanaman C0, C1, C2 memiliki fraksi kering akar dibawah 0,5 yang mengindikasikan kemampuan penyerapan air oleh akar masih berjalan optimal. Pada konsentrasi C3, C4, C5 fraksi kering di atas 0,6. Tingginya konsentrasi pelumas bekas yang membentuk film

pada permukaan air maupun akar menyulitkan akar untuk melakukan penyerapan air.

Berdasarkan hasil dari RFT maka ditentukan konsentrasi untuk penelitian utama adalah 4% dari total berat tanah. Penentuan tersebut berdasarkan data hasil pengamatan berupa suhu yang berada pada rentang mesofilik, tingkat kematian tumbuhan pada reaktor sebesar 0% (tidak ada tanaman yang mati), nilai rata-rata laju pertumbuhan yang lebih tinggi daripada konsentrasi lainnya (0,481 cm/hari), rasio perpanjangan akar di atas rata-rata (0,333), dan nilai fraksi kering yang cenderung rendah.

### **4.3. Penelitian Utama**

Pelumas bekas dan variabel yang diberikan pada media dalam reaktor memberikan pengaruh terhadap sampel tanaman akar wangi. Maka dari itu dilakukan pengamatan secara fisik maupun analisa laboratorium berdasarkan pengukuran tinggi tanaman, panjang akar tanaman, fraksi kering dan TPH. Dokumentasi penelitian utama dapat dilihat pada Lampiran E.

#### **4.3.1. Analisis Laju Pertumbuhan**

Laju pertumbuhan didapatkan dari selisih panjang tanaman dibagi hari tumbuh tanaman pada media tanam selama penelitian utama berlangsung sehingga dapat dihitung melalui persamaan berikut :

$$v = \frac{(L2-L1)}{T}$$

Keterangan :

v = Laju pertumbuhan tanaman (cm/hari)

L1 = Tinggi tanaman awal (cm)

L2 = Tinggi tanaman akhir (cm)

T = Lamanya waktu pertumbuhan (hari)

Berdasarkan pengamatan hingga hari ke-15 didapatkan hasil pengukuran terhadap tinggi tanaman yang dapat dilihat pada Lampiran L sebagai berikut:

Tabel 4. 8 Tabel Laju Pertumbuhan Tiap Variabel

Variabel	Tanaman	Selisih Tinggi	Laju Pertumbuhan	Rata-rata Laju Pertumbuhan
A1	T1	2.2	0.147	0.284
	T2	5.7	0.380	
	T3	4.9	0.327	
A2	T1	0.9	0.060	0.196
	T2	3.1	0.207	
	T3	4.8	0.320	
A3	T1	2.6	0.173	0.224
	T2	3.5	0.233	
	T3	4	0.267	
B1	T1	8.2	0.547	0.604
	T2	3.3	0.220	
	T3	15.7	1.047	
B2	T1	5	0.333	0.329
	T2	1.1	0.073	
	T3	8.7	0.580	
B3	T1	4.9	0.327	0.362
	T2	10.7	0.713	
	T3	0.7	0.047	

Keterangan :

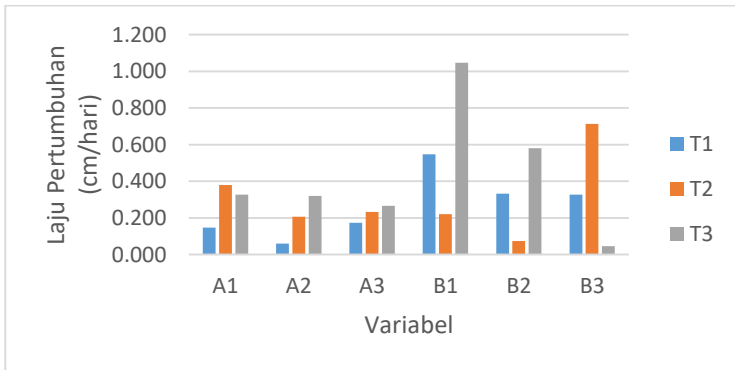
A1 = Variabel Konsentrasi pupuk 40 gram penyiraman per 1 hari

A2 = Variabel Konsentrasi pupuk 40 gram penyiraman per 3 hari

A3 = Variabel Konsentrasi pupuk 40 gram penyiraman per 5 hari

- B1 = Variabel Konsentrasi pupuk 80 gram penyiraman per 1 hari
- B2 = Variabel Konsentrasi pupuk 80 gram penyiraman per 3 hari
- B3 = Variabel Konsentrasi pupuk 80 gram penyiraman per 5 hari

Berdasarkan data dari tabel 4.8. maka dapat dibuat dalam bentuk grafik yang mempermudah dalam analisis data sebagaimana Gambar 4.7:



Gambar 4. 7 Grafik Perbandingan Tiap Tanaman dalam Tiap Variabel

Pada Gambar 4.7. dapat dilihat bahwa pada variabel A (konsentrasi pupuk 40 gram/reaktor) dengan tiga variabel penyiraman yang berbeda memiliki rata-rata pertumbuhan lebih rendah dibandingkan dengan variabel B (konsentrasi pupuk 80 gram per/reaktor), sehingga dapat diduga bahwa peran pupuk pada awal masa penelitian memiliki fungsi penting dalam pembentukan komunitas mikroorganisme dalam akar dalam pemecahan pencemar pelumas bekas. Pada variabel 1,2 dan 3 dapat dilihat bahwa frekuensi penyiraman sekali sehari memiliki nilai laju pertumbuhan yang lebih tinggi daripada frekuensi penyiraman 3 hari sekali maupun 5 hari sekali, sehingga dapat diduga bahwa penyiraman sehari sekali menjaga kelembaban tanah tetap terjaga dan berada pada rentang yang optimal untuk

pertumbuhan mikroorganismenya, baik rizobakteria maupun mikoriza.



Gambar 4. 8 Reaktor dan Tanaman Penelitian Utama

#### 4.3.2. Analisis Fraksi Kering

Analisis Fraksi kering dapat dihitung setelah mendapatkan data berat basah dan berat kering pada akhir penelitian. Fraksi kering adalah rasio yang digunakan untuk mengukur jumlah fase cair (atau fase uap) pada bagian tumbuhan. Sebagai contoh jika nilai fraksi kering adalah 0,85 maka nilai tersebut menunjukkan bahwa bagian tumbuhan mengandung 15% dari kadar air. Fraksi kering tiap rata-rata untuk tiap variable dapat dilihat pada tabel 4.9:

Tabel 4. 9 Fraksi Kering Tiap Bagian Tanaman

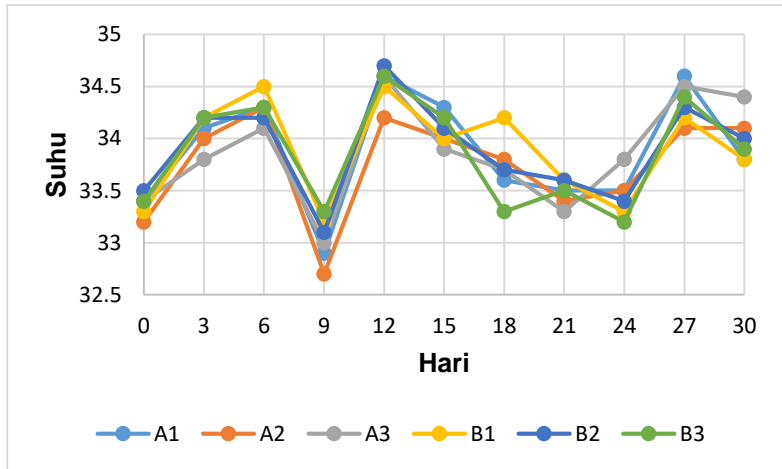
Keterangan	A1	A2	A3	B1	B2	B3
Daun	0.548	0.644	0.591	0.553	0.572	0.586
Akar	0.495	0.564	0.509	0.464	0.491	0.501

Variabel 1 (penyiraman satu hari sekali) menunjukkan nilai fraksi kering yang relatif kecil dibandingkan variabel 2 (penyiraman tiga hari sekali) dan variabel 3 (penyiraman lima hari sekali). Pada variabel 2 dan 3 beberapa bagian tanaman mengalami layu dan kering pada hari ke-30 sehingga fraksi kering dari daun bernilai lebih besar. Nilai fraksi kering akar berbanding lurus dengan fraksi

kering daun, yang mengindikasikan bahwa proses transfer dari media tanam ke akar dan akar ke daun tidak berjalan optimal.

#### 4.3.3. Suhu dan Kelembapan

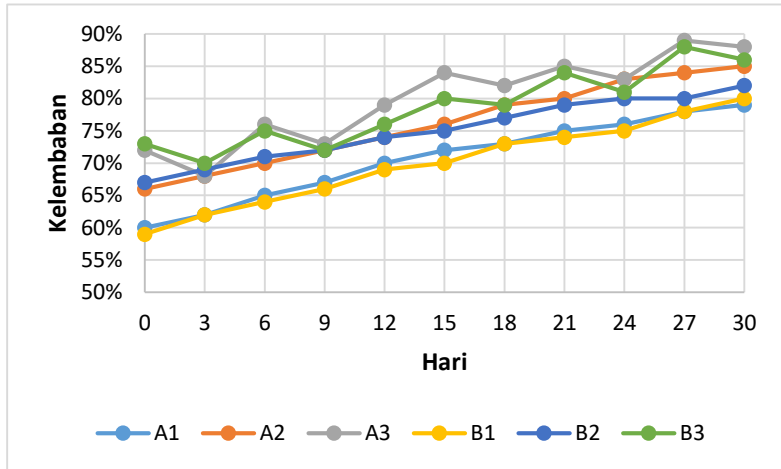
Pengukuran suhu dilakukan setiap 3 hari sekali dan dapat dilihat pada lampiran N didapatkan hasil sebagaimana Gambar 4.9:



Gambar 4. 9 Grafik Pengukuran Suhu Uji Utama

Pada hari ke-3 hingga hari ke-15 variabel B memiliki suhu lebih tinggi, hal ini menandakan bahwa adanya aktivitas mikroorganismenya pada media tanah yang bekerja lebih dominan karena pasokan pupuk yang lebih banyak daripada variabel A. Sedangkan pada hari ke-24 hingga hari ke-30 variabel A memiliki suhu yang lebih tinggi. Adanya penurunan konsentrasi pelumas bekas pada hari sebelumnya akibat dari aktivitas akar yang lebih cepat sehingga saat memasuki hari ke-24 komunitas mikroorganismenya rhizosfer variabel A sudah memasuki fase stationer, sedangkan variabel B baru memasuki fase eksponensial.

Grafik pengamatan kelembapan berdasarkan Lampiran O dapat dilihat pada gambar 4.10:



Gambar 4. 10 Grafik Pengukuran Kelembapan Uji Utama

Grafik untuk tiap variabel memiliki kecenderungannya masing masing. Hal ini disebabkan karena penambahan air pada variabel 1 setiap harinya bernilai konstan. Sedangkan pada variabel 2 dan 3 penambahan air dengan jumlah yang melebihi kebutuhan tanaman dan mikroorganisme pada hari di mana penyiraman dilakukan akan berimbang pada aktivitas tanaman maupun komunitas rhizosfer. Sebagai contoh pada variabel 2 pada hari pertama dilakukan penyiraman sebanyak 300 ml, pada hari ke-2 dan ke-3 kadar air pada media lebih rendah daripada hari pertama, kemudian pada hari ke-4 dilakukan penyiraman kembali. Hal ini menyebabkan fluktuasi kadar air pada media sehingga proses metabolisme akar wangi dan mikroorganisme mengalami perubahan.

#### 4.3.4. Analisis TPH

Analisis terhadap konsentrasi pelumas bekas merupakan analisis utama untuk menentukan nilai % removal yang dapat

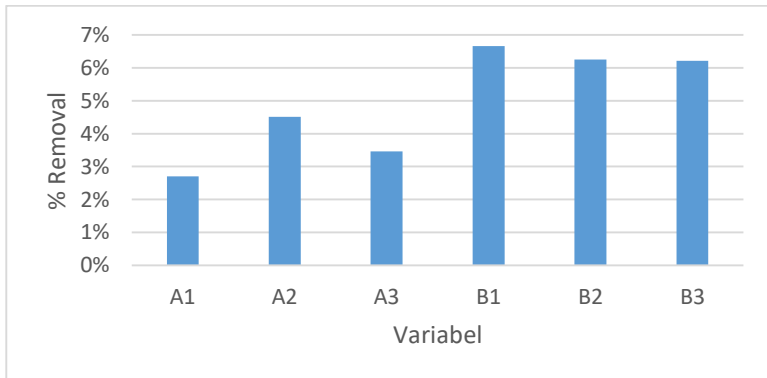
disisihkan oleh tanaman dari media. Pengambilan sampel secara komposit sehingga didapatkan pelumas bekas secara merata dari permukaan media hingga lapisan terdalam media, sehingga polutan yang biasanya mengendap di dasar reaktor dapat terambil.

Pada hari ke-10 penurunan konsentrasi pelumas bekas pada tiap variasi yang dapat dilihat pada lampiran M dengan hasil pada Tabel 4.10:

Tabel 4. 10 Prosentase Removal Pada Hari Ke-10

<b>Variabel</b>	<b>Konsentrasi pelumas (g/kg)</b>	<b>Konsentrasi Pelumas (%)</b>	<b>%removal</b>
A1	38,92	3,89%	2,70%
A2	38,20	3,82%	4,51%
A3	38,61	3,86%	3,46%
B1	37,34	3,73%	6,66%
B2	37,50	3,75%	6,25%
B3	37,52	3,75%	6,21%

Berdasarkan data di atas didapatkan grafik perbandingan sebagaimana Gambar 4.11:



Gambar 4. 11 Perbandingan % Removal Pelumas Bekas



Hasil analisis terhadap pelumas bekas pada hari ke-10 variabel A1, A2 dan A3 menghasilkan % removal di bawah 5%. Removal yang cukup rendah dikarenakan pemecahan polutan oleh bakteri menjadi substrat yang dapat digunakan oleh tumbuhan belum terurai secara masif.

Pada hari ke-20 didapatkan data penurunan konsentrasi pelumas bekas pada tiap variasi yang dapat dilihat pada lampiran M dengan hasil dalam Tabel 4.11 :

Tabel 4. 11 Prosentase Removal Pada Hari Ke-20

<b>Variabel</b>	<b>Konsentrasi pelumas (g/kg)</b>	<b>Konsentrasi Pelumas (%)</b>	<b>%removal</b>
A1	35,05	3,50%	12,39%
A2	35,47	3,55%	11,32%
A3	35,78	3,58%	10,55%
B1	34,19	3,42%	14,54%
B2	34,88	3,49%	12,79%
B3	34,56	3,46%	13,60%

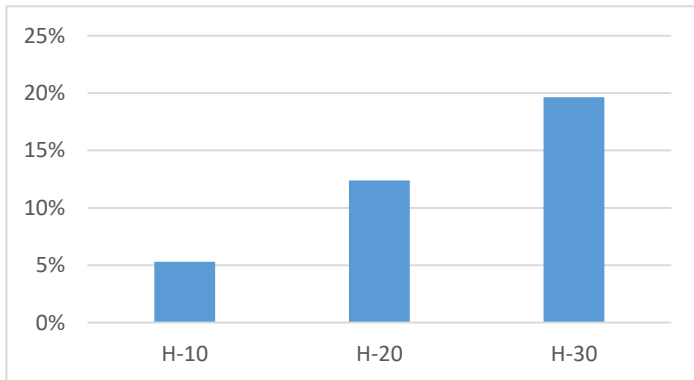
Pada hari ke-20 aktivitas mikroorganisme memasuki fase eksponensial sehingga mempercepat proses degradasi pelumas bekas komunitas rhizosfer yang sudah terbentuk secara kompleks dengan mikroorganisme yang heterogen memiliki fungsinya masing-masing seperti pemecahan rantai karbon, pembentukan asam organik dan konversi molekul menjadi organik menjadi senyawa inorganik yang dapat diserap oleh tanaman. Variabel B1 (konsentrasi pupuk 80 gram per/reaktor, penyiraman 1 kali sehari) memiliki persen removal paling tinggi sebesar 14,54%.

Hari ke-30 didapatkan hasil akhir degradasi pelumas bekas yang dapat dilihat pada lampiran M dengan hasil pada Tabel 4.12:

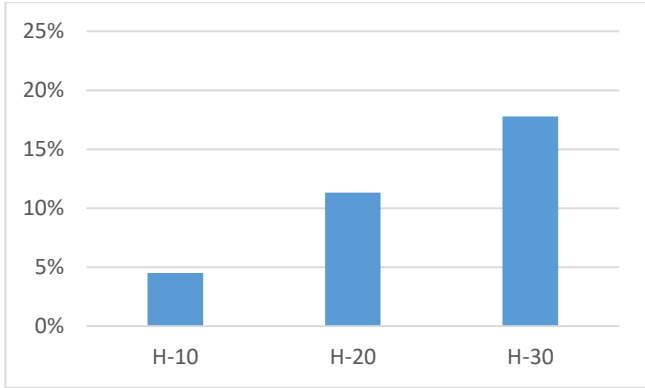
Tabel 4. 12 Prosentase Removal Pada Hari Ke-30

Variabel	Konsentrasi pelumas (g/kg)	Konsentrasi Pelumas (%)	%removal
A1	32.14	3.21%	19.65%
A2	32.89	3.29%	17.78%
A3	33.42	3.34%	16.45%
B1	31.33	3.13%	21.68%
B2	32.25	3.23%	19.37%
B3	31.99	3.20%	20.04%

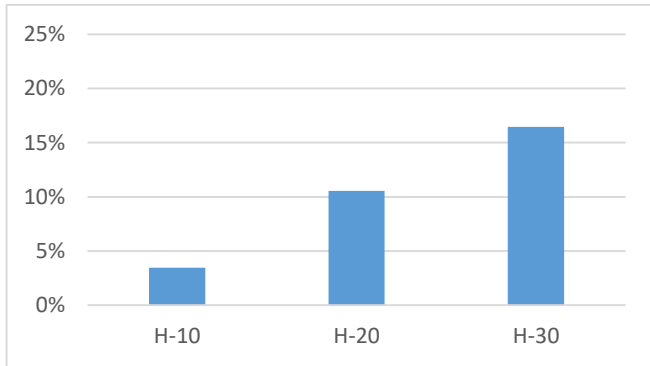
Berdasarkan data penurunan konsentrasi pelumas bekas terhadap waktu, maka dapat dibuat grafik per variabel sebagai berikut :



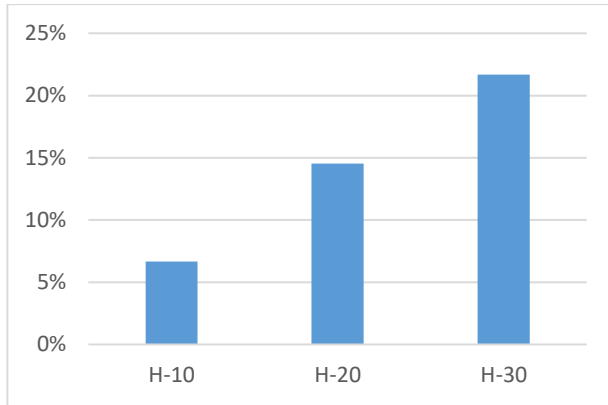
Gambar 4. 12 Removal A1 Per 10 Hari



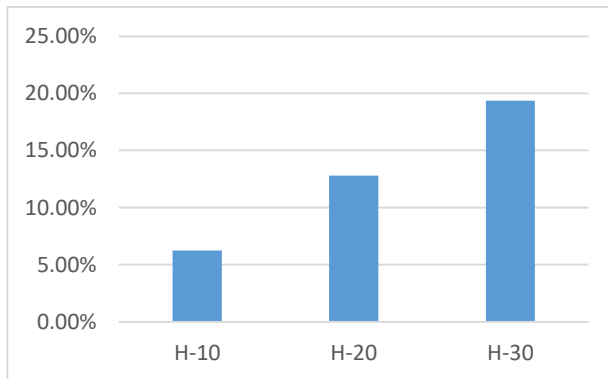
Gambar 4. 13 Removal A2 Per 10 Hari



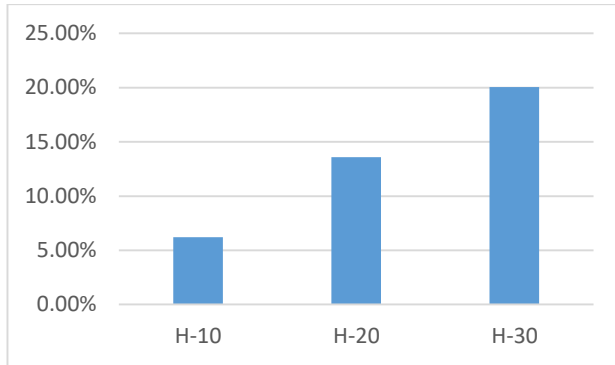
Gambar 4. 14 Removal A3 Per 10 Hari



Gambar 4. 15 Removal B1 Per 10 Hari

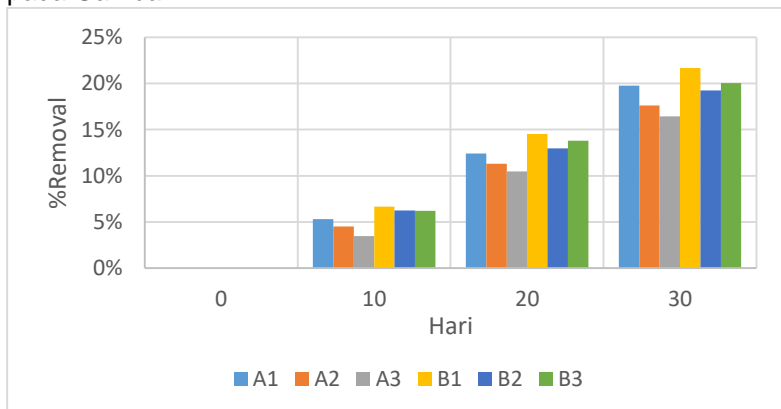


Gambar 4. 16 Removal B2 Per 10 Hari



Gambar 4. 17 Removal B3 Per 10 Hari

Hasil removal dari ke-30 menunjukkan bahwa hubungan antara tanaman dengan komunitas rhizosfer telah berada pada fase keberlanjutan yang menguntungkan satu sama lain. Peningkatan biodegradasi rhizosfer melalui eksudat akar, oksigen, dan enzim tanaman adalah proses removal yang lebih dominan dibandingkan dengan proses pengangkutan zat menuju ke dalam tanaman. Dari data yang didapatkan, maka dapat dibuat grafik pada Gambar 4.12 :



Gambar 4. 18 Grafik Removal Pelumas Bekas

Grafik di atas memperlihatkan peningkatan degradasi pelumas bekas dari waktu ke waktu. Pada variabel B1, B2, B3 memiliki % removal yang lebih tinggi, hal ini terjadi karena konsentrasi pupuk sebagai suplai nutrisi untuk mikroorganisme tersedia secara melimpah sehingga aktivitas mikroorganisme berjalan secara optimal. Hasil pengamatan yang telah dilakukan memperlihatkan bahwa tinggi konsentrasi pupuk yang diberikan memiliki berbanding lurus dengan penurunan konsentrasi pelumas bekas. Nilai removal pelumas bekas berturut-turut pada variabel A1 = 19,65%, A2 = 17,78%, A3 = 16,45%, B1 = 21,68%, B2 = 19,37%, B3 = 20,04%.




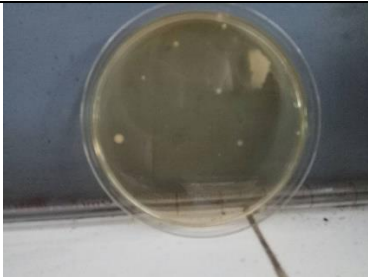
#### 4.3.5. Peran Mikroorganisme


Pelumas bekas merupakan minyak hidrokarbon yang sulit terdegradasi, tanah dengan konsentrasi polutan yang sangat tinggi juga mempengaruhi proses degradasi. Oli bekas memiliki titik didih yang tinggi, yaitu antara 800°F-100°F, limbah oli bekas memiliki kemungkinan kecil untuk dapat mengalami penurunan akibat proses penguapan pada keadaan dan suhu lingkungan sekitar. Apabila terjadi proses penurunan konsentrasi oli bekas pada media dalam reaktor, maka dapat disimpulkan bahwa hal tersebut terjadi karena hasil dari proses biodegradasi oleh mikroorganisme dengan memanfaatkan hubungan secara alami yang terjadi antara mikroorganisme, tanaman, dan lingkungannya.

Berdasarkan hasil analisis yang telah dilakukan maka didapatkan data pada pengenceran ke-7, dokumentasi dan hasil analisis dapat dilihat pada Lampiran P dan Q:

Tabel 4. 13 Hasil Pengamatan Koloni Bakteri

Variabel	Gambar	Jumlah Bakteri
A1		20x10 <sup>8</sup> koloni

Variabel	Gambar	Jumlah Bakteri
A2		11x10 <sup>8</sup> koloni
A3		17x10 <sup>8</sup> koloni
B1		54x10 <sup>8</sup> koloni
B2		19x10 <sup>8</sup> koloni

Variabel	Gambar	Jumlah Bakteri
B3		$31 \times 10^8$ koloni

Tanah rhizosfer yang mengelilingi akar tanaman kaya akan mikroorganisme memiliki interaksi konstan antara tumbuhan dan mikroba di rhizosfer yang dimediasi oleh bahan kimia yang ada dalam eksudat akar. Interaksi dapat memiliki efek positif atau negatif pada tanaman atau mikroba (Prithviraj et. al., 2006). Senyawa kimia yang ada dalam eksudat akar memainkan peran penting dalam pembentukan asosiasi simbiosis antara jamur mikoriza dan tanaman. Lebih dari 80% dari semua tanaman darat membentuk asosiasi simbiosis dengan mikoriza, yang meningkatkan serapan fosfor dan memberi toleransi terhadap biotik dan abiotik pada tanaman. Percabangan jamur hyphal merupakan perintis penting dari kolonisasi akar dan dimediasi oleh faktor percabangan (*Branching Factors*) yang ada di eksudat tanaman inang (Buee et. al., 2000)

Berdasarkan data yang didapatkan pengukuran parameter lainnya, aktivitas mikroorganisme dipengaruhi oleh perlakuan yang diterapkan pada setiap variabel. Jumlah koloni pada variabel B (konsentrasi pupuk 80 gram) cenderung memiliki jumlah koloni yang lebih banyak daripada variabel A (konsentrasi pupuk 40 gram). Metabolisme dan aktivitas mikroorganisme dipengaruhi oleh besarnya konsentrasi pupuk yang berbanding lurus dengan fase pertumbuhan mikroorganisme, sedangkan parameter kelembapan berbanding terbalik dengan aktivitas bakteri. Akar wangi akan mengalami tekanan turgor, sedangkan sel bakteri mengalami kondisi hipotonik dikarenakan banyaknya konsentrasi air yang masuk ke dalam sel akibat difusi. Oleh karena itu jumlah



koloni bakteri pada variabel 1 (frekuensi penyiraman 1 kali sehari) lebih banyak daripada variabel 2 dan 3. Kondisi lingkungan yang tidak banyak berubah membuat mikroorganisme tidak banyak beradaptasi pada tiap periode penyiraman sehingga fase pertumbuhan bakteri berjalan optimal.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

## **BAB V**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### **5.1. Kesimpulan**

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Konsentrasi optimal untuk degradasi pelumas bekas berdasarkan kondisi fisik tanaman sebesar 4% dari berat total media.
2. Efisiensi removal pelumas bekas oleh akar wangi pada akhir penelitian berturut-turut pada variabel konsentrasi pupuk 40 gram dan penyiraman 1 hari sekali sebesar 19,65%, konsentrasi pupuk 40 gram dan penyiraman 3 hari sekali sebesar 17,78%, konsentrasi pupuk 40 gram dan penyiraman 5 hari sekali sebesar 16,45%, konsentrasi pupuk 80 gram dan penyiraman 1 hari sekali sebesar 21,68%, konsentrasi pupuk 80 gram dan penyiraman 3 hari sekali sebesar 19,37%, konsentrasi pupuk 80 gram dan penyiraman 5 hari sekali sebesar = 20,04%.
3. Kondisi optimum adalah variabel B1, yaitu konsentrasi penambahan pupuk sebesar 80 gram dan frekuensi penyiraman sehari sekali dengan persen removal sebesar 21,68 %.

#### **5.2. Saran**

Saran yang dapat diambil dari penelitian ini adalah :

1. Diperlukan uji analisis mikroorganisme pada media awal sehingga diketahui ada tidaknya mikroorganisme awal pada media pasir.
2. Perlu adanya kontrol kelembapan agar fluktuasi kelembapan dari hari ke hari tidak mengalami kenaikan yang terlalu tinggi.
3. Peran mikroorganisme dalam penelitian ini perlu dipelajari lebih lanjut, sehingga terdapat kesinambungan antara peran akar wangi dengan bakteri.



## DAFTAR PUSTAKA

- Abioye, O. P, Agamuthu, P, Abdul Aziz A. 2010. *Phytoremediation Potential of Kenaf (Hibiscus Cannabinus) in Soil Contaminated with Used Lubricating Oil*. Linnaeus ECO-TECH '10.
- Adam, G., Duncan H. 2002. *Influence of Diesel on Seed Germination*. Environ. Pollut. 120: 363-370
- Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR). 1998. *Toxicological Profile for Methylene Chloride (Update)*. Draft for Public Comment. Public Health Service, U.S. Department of Health and Human Services. Atlanta, GA.
- Aprill W. & Sims R.C. 1990. *Evaluation of the Use of Prairie Grasses for Stimulating Polycyclic Aromatic Hydrocarbon Treatment in Soil*. Chemosphere 20: 253-265.
- Ardhanie, P.R. 2003. *Biodegradasi Oli Bekas Pada Media Tanah*. Tugas Akhir Jurusan Teknik Lingkungan, FTSP, ITS Surabaya.
- Ayoola, S. O., Akaeze, C. O. 2012. *Genotoxic Evaluation Toxicity of Spent Engine Oil On Clarias gariepinus*. Research Journal of Environmental Toxicology 6: 133-141.
- Baker, K.H. Herson D.S. 1994. *Bioremediation*. United States of America : McGraw-Hill, Inc.
- Bossert, I. & Bartha R. 1985. *Plant Growth on Soils with a History of Oily Sludge Disposal*. Soil Science 140(1): 75-77.
- Brandt, R. 2003. *Potential of Vetiver (Vetiveria Zizanioides (L.) Nash) for the use in Phytoremediation of Petroleum Hydrocarbon-Contaminated Soils in Venezuela*. Westfälische Wilhelms-Universität Münster Institut für Landschaftsökologie.

- Buee, M., Rossignol, M., Jauneau, A., Ranjeva, R., Be´card, G. 2000. *The pre-symbiotic growth of arbuscular mycorrhizal fungi is induced by a branching factor partially purified from plant root exudates*. Mol. Plant Microbe Interact. 2000, 13, 693–698.
- Chaîneau, C.H., Morel J.L. & Oudot J. 1997. *Phytotoxicity and Plant Uptake of Fuel Oil Hydrocarbons*. Journal of Environmental Quality 26: 1478-1483.
- Cunningham, S.D., Anderson T.A., Schwab P.A., Hsu F.C. 1996. *Phytoremediation of Soils Contaminated with Organic Pollutants*. Advances in Agronomy 56: 55-114.
- Cunningham, S.D. & Ow D.W. 1996. *Promises and Prospects of Phytoremediation*. Plant Physiology 110: 715-719.
- Dominguez-Rosado, E. and Pichtel, J. 2004. *Phytoremediation of Soil Contaminated with Used Motor Oil (Greenhouse Studies)*. Environmental Engineering Science 21(2): 169-180.
- Fedak, D. 2001. *The story of why engine oil became engine sludge*. Engine Builder.
- Fingas, M. F. 1995. *Chemical Analysis Methods for Crude Oil*. International Oil Spill Conference Proceedings: February-March 1995, Vol. 1995, No. 1, pp. 1004-1006.
- Frick, C.M., Farrell R.E. & Germida J.J. 1999. *Assessment of Phytoremediation as an In-situ Technique for Cleaning Oil-contaminated Sites*. PTAC Petroleum Technology Alliance Canada.
- Greenfield, J.C. 2000. *Vetiver grass: An Essential Grass for the Conservation of Planet Earth*. The Vetiver Network International.
- Habibah, N. 2005. *Penyisihan Petroleum pada Media Tumbuh Rumput Gajah (Pennisetum purpureum) dan Jagung (Zea mays L.)*. Tugas Akhir Teknik Lingkungan FTSP ITS.

- Harjati, S. 2001. *Personal Communication*. Professional Bioteknologi. Bandung : PAU-ITB.
- ITRC. 1999. *Phytoremediation Decision Tree*. The Interstate Technology and Regulatory Cooperation Work Group, Phytoremediation Work Team.
- Joy, R.J. 2009. '*Sunshine*' *Vetivergrass Chrysopogon zizanioides*. USDA NRCS Pacific Islands Area Plant Materials Program
- Lugtenberg, B., Faina K. 2009. Plant-Growth-Promoting Rhizobacteria. Annual Review of Microbiology 2009 63:541-556.
- Kuntze, H., Roeschmann G. & Schwerdtfeger G. 1994. *Bodenkunde*. Stuttgart : Ulmer Verlag.
- Kuo, H.C., D.F. Juang, L. Yang, W.C. Kuo, Y.M. Wu. 2014. *Phytoremediation of Soil Contaminated by Heavy Oil with Plants Colonized by Mycorrhizal Fungi*. International Journal Environmental Science Technoogy (2014) 11:1661–1668.
- Moenir, M. 2010. *Kajian Fitoremediasi Sebagai Alternatif Pemulihan Tanah Tercemar Logam Berat*. Jurnal Riset Teknologi Pencegahan dan Pencemaran Industri. 1(2):115-123
- Mullan, D., D. Pietragalla. 2015. *Chapter 5. Leaf Relative Water Content*. CIMMYTP : Physiological Breeding II: A Field Guide to Wheat Phenotyping.
- Nyer, Skladany, 1989. *Relating the Physical and Chemical Properties of Petroleum Hydrocarbons to Soil and Aquifer Remediation Ground Water*. Monitoring Review
- Obini, U., Okafor, C. O. and Afiukwa, J. N. 2013. Determination of Levels of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Soil Contaminated with Spent Motor Engine Oil in Abakaliki Auto-Mechanic Village. Journal of Applied Science and Environmental Management 17(2): 169-175.

- Ogoko, E.C. 2014. *Evaluation of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons, Total Petroleum Hydrocarbons and Some Heavy Metals in Soils of Nnpc Oil Depot Aba Metropolis, Abia State, Nigeria*. IOSR Journal of Environmental Science, Toxicology and Food Technology Volume 8, Issue 5 Ver. III.
- Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 18 Tahun 1999.
- Prithiviraj, B., Mark W. P., Jorge M. V. 2007. *Root Communication: The Role of Root Exudates*. Encyclopedia of Plant and Crop Science 1:1, 1 – 4.
- Santriyana, Dery D. 2013. *Eksplorasi Tanaman Fitoremediator Aluminium (Al) yang ditumbuhkan pada Limbah Ipa Pdam Tirta Khatulistiwa Kota Pontianak*. Pontianak: Jurnal Mahasiswa Teknik Lingkungan UNTAN.
- Schnoor J.L., Licht L.A., Mccutcheon S.C., Wolfe N.L. & Carreira L.H. 1995. *Phytoremediation of Organic and Nutrient Contaminants*. Environmental Science & Technology 29(7): 318A-323A.
- Shipley, B., Vu, T. 2002. *Dry Matter Content as a Measure Of Dry Matter Concentration in Plants and Their Parts*. *New Phytologist* (2002) 153 : 359–364
- Siciliano S.D. & Germida J.J. 1998. *Mechanisms of Phytoremediation: Biochemical and Ecological Interactions Between Plants and Bacteria*. Environmental Reviews 6: 65-79.
- Soemirat J. 2003. *Toksikologi Lingkungan*. Yogyakarta (ID): Gajah Mada University Press.
- Tangahu, B.V., Siti R.S.A, Hassan B., Mushrifah I., Nurina A., Muhammad M. 2011. *A Review on Heavy Metals (As, Pb, and Hg) Uptake by Plants Through Phytoremediation*. International Journal of Chemical Engineering.
- Truong, P. & Baker D. 1997. *The Role of Vetiver Grass in the Rehabilitation of Toxic and Contaminated Lands in*



*Australia*. Proceedings of the International Vetiver Workshop (October 21-26, 1997), Fuzhou, China.

UU Nomor 32 Tahun 2009

US-EPA 1996. (31996): *Method 3540C-8: Soxhlet Extraction*. Washington D.C.

US-EPA. 1998. (21998): *Method 9071B-13 : N-hexane Extractable Material (HEM) for Sludge, Sediment and Solid Samples*. Washington D.C.

Vasquez-Duhalt, R. 1989. *Environmental Impact of Used Motor Oil*. Science of The Total Environment 79(1):1-23 · March 1989

Vogel. 1979. *Buku Teks Analisis Anorganik Kualitatif Makro Dan Semimikro*. Jakarta: PT. Kalman Media Pustaka.

Vyatrawan, L. 2015. Bioremediasi Tanah Tercemar Minyak dengan Metode Soil Washing dan Biostimulasi. Tugas Akhir Teknik Lingkungan FTSP ITS.

Wartawan, A.L. 1983. *Minyak Pelumas Pengetahuan Dasar & Cara Penggunaan*. Jakarta : Gramedia.

Walker, J.N., Duncan G.A. 1973. *Greenhouse Humidity Control*. Kentucky: Department of Agricultural Engineering, University of Kentucky AEN-19

WHO. 2000. *Air Quality Guidelines - Second Edition Chapter 5.7 Dichloromethane*. WHO Regional Office for Europe, Copenhagen, Denmark.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

## LAMPIRAN A RANGE FINDING TEST



(a)



(b)



(c)



(d)

Keterangan :

- (a) = Sampel dipisahkan dari indukan
- (b) = Media pasir 12 kg dicampur oli bekas yang sudah ditimbang sesuai konsentrasi masing-masing
- (c) = Menimbang pupuk NPK
- (d) = Sampel ditanam kemudian ditambah pupuk NPK

**LAMPIRAN B PENGAMATAN RANGE FINDING TEST HARI  
KE-7**



C0



C1



C2



C3



C4



C5

**LAMPIRAN C PENGAMATAN RANGE FINDING TEST HARI  
KE-14**



C0



C1



C2



C4



C5



C6

## LAMPIRAN D BERAT BASAH DAN BERAT KERING



a



b



c



d



e



f



g



h



i



j



k



l

Keterangan :

- a,b = mengambil tanaman sampel dari reaktor kemudian diukur untuk mendapatkan panjang daun dan akar.
- c,d = Menimbang alumunium foil kosong.
- e,f = Memisahkan bagian daun dan akar kemudian dimasukkan ke dalam alumunium foil.
- g = Membungkus alumunium foil.
- h,i = Menimbang bagian akar ditambah alumunium foil.
- j = Memasukkan sampel bagian tanaman ke oven 105°C selama 24 jam.
- k,l = Memasukkan sampel ke desikator selama 15 menit kemudian ditimbang di neraca analitik.

## LAMPIRAN E PENELITIAN UTAMA



a



b



c



d



e



f



g



h



Keterangan :

- a = memisahkan tanaman sampel dari indukan kemudian daun dan akar masing-masing sepanjang 20 cm.
- b = Menimbang pelumas bekas sebesar 480 gram.
- c = Mencampur oli bekas dengan media pasir hingga homogen.
- d,e = Menimbang pupuk NPK seberat 40 gram untuk variabel A dan 80 gram untuk variabel B dan 20 gram pada kontrol.
- f = Menaburkan pupuk 20 gram pada kontrol media tanpa tanaman.
- g = Menaburkan pupuk 20 gram pada kontrol tanaman tanpa polutan setelah penanaman.
- h = Menaburkan pupuk 40 gram dan 80 gram pada media tanaman dengan polutan setelah penanaman.

## LAMPIRAN F KOMPOSIT SAMPLING DAN EKSTRAKSI SOXHLET



a



b



c



d



e



f



g



h



i



j



k



l

Keterangan :

- a = Mengambil media pasir menggunakan pipa hingga dasar reaktor.
- b = Meletakkan media pasir ke alumunium foil yang sudah ditimbang.
- c = Menimbang media pasir seberat 20 gram.
- d = Memasukkan media dan alumunium foil ke oven selama 24 jam.
- e = Memasukkan media dan alumunium foil ke desikator kemudian media dipisahkan dari foil dan dibungkus dengan kertas saring.
- f,g,h = Menimbang labu soxhlet menggunakan neraca analitik.
- i = Merangkai Soxhlet dan melakukan running selama 2 jam.
- j = Labu dan pelumas hasil ekstraksi dimasukkan ke dalam oven selama 24 jam.
- k = Labu dan pelumas hasil ekstraksi dimasukkan ke dalam desikator selama 15 menit
- l = Menimbang hasil ekstraksi menggunakan neraca analitik.

### LAMPIRAN G DATA PENGAMATAN TINGGI TANAMAN PADA AKLIMATISASI

Hari	C0			C1			C2		
	T1	T2	T3	T1	T2	T3	T1	T2	T3
1	20	20	20	20	20	20	20	20	20
2	22.8	21.2	21.7	21.3	21.1	21.2	21.4	21.5	21.7
3	25.8	22.6	23.8	23.4	22.3	22.1	22.9	22.8	23.1
4	28.7	24.3	26	26.2	23.4	23.6	25.4	25.1	25.6
5	31.5	25.7	28.2	27.6	25.2	26	27.2	27.3	27.7
6	34.4	27.4	30.3	30	27.3	27.2	29.1	29.3	29.8
7	37	29.4	32.5	32.7	29.5	29.2	31	31.1	32.1
8	39.7	30.6	34.4	34.5	31.5	31.3	32.5	32.8	33.7
9	42.4	32.1	36.4	36.6	33.3	32.5	34.3	34.7	35.3
10	45.2	33.4	38.9	38.8	35.8	34.7	36.8	37	37.8
11	47.9	35	40.3	40	37.4	35.9	38.5	39.2	49.7
12	51.6	36.9	42.9	43.2	38.8	37.7	40.7	40.8	42.8
13	53.5	38.7	44.2	44.5	40.4	39.4	41.7	42	44.4
14	55.4	40.1	46.5	46.6	42.1	41.3	43.5	43.8	45.7

Hari	C0			C1			C2		
	T1	T2	T3	T1	T2	T3	T1	T2	T3
Pertumbuhan per hari (cm/hari)	2.529	1.436	1.893	1.900	1.579	1.521	1.679	1.700	1.836

Hari	C3			C4			C5		
	T1	T2	T3	T1	T2	T3	T1	T2	T3
1	20	20	20	20	20	20	20	20	20
2	22.1	21.9	22.1	20.9	20.9	21.2	22	21.4	21.3
3	24.1	23.2	24.2	21.9	22.1	22.3	23.6	23.2	23.7
4	27	25.3	26.6	23.1	23.4	23.6	26.7	25	26
5	30.3	27.6	29.9	24.4	25.5	24.8	30.1	27.1	28.1
6	33.4	30.2	33.2	25.6	26.9	26.5	33.2	29.6	30.1
7	35.6	33.1	36.8	26.7	28.5	28.2	35.3	31.9	31.9
8	38.2	35.7	39.7	28	31.3	30.7	38	33.7	34.2
9	40.7	38.6	42.9	29.4	32.6	32.2	40.4	36.1	35.8
10	43.1	40.4	45.1	30.9	34.4	33.9	42.9	38.8	37.6

Hari	C3			C4			C5		
	T1	T2	T3	T1	T2	T3	T1	T2	T3
11	45.8	42.7	48.4	33.2	36.1	36.3	45.1	41.6	39.7
12	48.8	47.3	51.9	35.3	37.9	38.1	48.1	44.9	42
13	51.3	48.8	56.6	37	39.4	40.2	51	46.7	43.4
14	53.4	51.6	58.9	38.2	40.7	41.7	53.3	49	44.6
Pertumbuhan per hari (cm/hari)	2.386	2.257	2.779	1.300	1.479	1.550	2.379	2.071	1.757

Keterangan : Data tinggi tanaman dalam satuan cm

**LAMPIRAN H DATA PENGAMATAN PANJANG AKAR PADA AKLIMATISASI**

	C0			C1			C2		
	T1	T2	T3	T1	T2	T3	T1	T2	T3
Awal	20	20	20	20	20	20	20	20	20
Akhir	30.6	32.1	27.6	28.9	30.6	29.5	32.3	29.8	28.9
Selisih	10.6	12.1	7.6	8.9	10.6	9.5	12.3	9.8	8.9
% pertumbuhan	0.53	0.605	0.38	0.445	0.53	0.475	0.615	0.49	0.445
	Rata-rata (%)		50.50%	Rata-rata (%)		48.33%	Rata-rata (%)		51.67%
	Laju (cm/hari)		0.721	Laju (cm/hari)		0.690	Laju (cm/hari)		0.738

	C3			C4			C5		
	T1	T2	T3	T1	T2	T3	T1	T2	T3
Awal	20	20	20	20	20	20	20	20	20
Akhir	31.2	29.7	30.4	30.1	28.4	30.7	28.3	33.6	26.4
Selisih	11.2	9.7	10.4	10.1	8.4	10.7	8.3	13.6	6.4
% pertumbuhan	0.56	0.485	0.52	0.505	0.42	0.535	0.415	0.68	0.32
	Rata-rata (%)		52.17%	Rata-rata (%)		48.67%	Rata-rata (%)		47.17%
	Laju (cm/day)		0.745	Laju (cm/day)		0.695	Laju (cm/day)		0.674

Total Pertambahan panjang	49.750%
Total Laju Pertumbuhan	0.711



**LAMPIRAN I DATA PENGAMATAN TINGGI TANAMAN PADA RFT**

Hari	C0			C1			C2		
	T1	T2	T3	T1	T2	T3	T1	T2	T3
1	55.4	40.1	46.5	46.6	42.1	41.3	43.5	43.8	45.7
2	57.6	42	47.2	46.9	42.5	41.8	44.1	44.2	45.9
3	58.8	44.8	48.6	47.3	42.8	42.2	44.6	44.5	46.2
4	61.4	45.5	50.7	47.6	43.1	42.6	45	44.9	46.5
5	64.5	47.2	53.2	47.8	43.7	43.1	45.5	46.6	48.6
6	68.2	50.2	55.3	48.1	44.0	43.4	45.9	47	49.8
7	70.5	53.8	57.2	48.2	44.3	43.6	46.7	47.4	51.9
8	70.9	54.3	58.6	48.5	44.5	43.9	47.1	47.7	52.5
9	81.1	54.6	59.1	48.8	44.6	44.2	47.5	48	52.8
10	81.2	55.0	59.8	49.2	44.8	44.4	48.1	48.3	53
11	81.2	55.2	60.1	49.5	44.8	44.7	48.6	48.7	53.2
12	81.2	55.7	60.3	49.7	44.9	45.0	48.9	49	53.5
13	81.2	56.4	60.7	49.9	45.1	45.3	49.3	49.3	53.6
14	81.2	56.9	61.1	50.0	45.1	45.5	49.9	49.5	53.8

Hari	C0			C1			C2		
	T1	T2	T3	T1	T2	T3	T1	T2	T3
Pertumbuhan per hari (cm/hari)	1.84 3	1.20 0	1.04 3	0.24 3	0.21 4	0.30 0	0.45 7	0.40 7	0.57 9

Hari	C3			C4			C5		
	Tinggi	Tinggi	Tinggi	Tinggi	Tinggi	Tinggi	Tinggi	Tinggi	Tinggi
1	53.4	51.6	58.9	38.2	40.7	41.7	53.3	49	44.6
2	53.7	51.8	59.3	38.6	41.2	41.9	53.6	49.3	44.8
3	54	52.2	59.6	38.9	41.6	42.3	53.8	49.6	45
4	54.3	52.5	60	39.2	42	42.7	54.2	50	45.4
5	54.9	52.7	60.3	39.4	42.4	42.8	54.5	50.1	45.6
6	55	53	60.6	39.5	42.6	42.9	Layu	Layu	Layu
7	55	53.5	60.8	39.6	42.9	Layu			
8	36.4*	53.8	60.9	39.6	43				
9	36.7	54	60.9	Layu	43.1	Layu			
10	36.9	54.2	Layu		43.1				
11	37.1	54.3			Layu				

Hari	C3			C4			C5		
	Tinggi	Tinggi	Tinggi	Tinggi	Tinggi	Tinggi	Tinggi	Tinggi	Tinggi
12	37.2	54.3	Layu						
13	37.2								
14	Layu								
Pertumbuhan per hari (cm/hari)	0.13 3	0.22 5	0.22 2	0.17 5	0.24 0	0.20 0	0.24 0	0.22 0	0.20 0

Keterangan : Data tinggi tanaman dalam satuan cm

Tanda \* menandakan bahwa daun yang diukur berganti menjadi daun tertinggi kedua karena daun tertinggi layu.

**LAMPIRAN J DATA PENGAMATAN PANJANG AKAR PADA RFT**

	C0			C1			C2		
	T1	T2	T3	T1	T2	T3	T1	T2	T3
Awal	20	20	20	20	20	20	20	20	20
Akhir	31.3	31.6	25.5	26.5	27.3	26.2	29.8	27.3	25.5
Selisih	11.3	11.6	5.5	6.5	7.3	6.2	9.8	7.3	5.5
% pertumbuhan	0.565	0.58	0.275	0.325	0.365	0.31	0.49	0.365	0.275
	Rata-rata		0.473	Rata-rata		0.333	Rata-rata		0.377
	Laju (cm/hari)		0.676	Laju (cm/hari)		0.476	Laju (cm/hari)		0.538

	C3			C4			C5		
	T1	T2	T3	T1	T2	T3	T1	T2	T3
Awal	20	20	20	20	20	20	20	20	20
Akhir	28.1	26.7	28	27.6	22.4	26.1	23.6	30.1	20.5
Selisih	8.1	6.7	8	7.6	2.4	6.1	3.6	10.1	0.5
% pertumbuhan	0.405	0.335	0.4	0.38	0.12	0.305	0.18	0.505	0.025
	Rata-rata		0.380	Rata-rata		0.268	Rata-rata		0.237
	Laju (cm/hari)		0.543	Laju (cm/hari)		0.383	Laju (cm/hari)		0.338

## LAMPIRAN K DATA PENGUKURAN SUHU REAKTOR PADA RFT

Hari	C0	C1	C2	C3	C4	C5
1	33.2	33.7	33.7	34.3	34.8	35.4
2	32.8	33.6	33.4	33.9	33.8	34.2
3	34.3	34.9	35.1	35.6	35.5	36
4	32.5	34.6	35.3	35.4	36.5	35.8
5	34.6	36.9	36.8	36	37.4	37.6
6	34.3	35.1	35.3	34.6	35.1	35.2
7	32.6	33.8	33.7	33.2	33.7	34.1
8	33.6	35.4	35.3	36.1	36.6	36.5
9	34.5	35.5	35.8	36	36.4	37
10	33.4	34.1	34.6	35	35.3	35.6
11	33.6	34.2	34.4	34.8	35.7	35.9
12	34.9	35.8	35.9	36.4	37.6	37.6
13	34.2	34.8	35	35.2	35.6	35.5
14	33.6	34.3	34.4	34.8	35.1	35.3

Keterangan :

- C0 = Konsentrasi Pelumas Bekas 0%
- C1 = Konsentrasi Pelumas Bekas 2%
- C2 = Konsentrasi Pelumas Bekas 3%
- C3 = Konsentrasi Pelumas Bekas 4%
- C4 = Konsentrasi Pelumas Bekas 5%
- C5 = Konsentrasi Pelumas Bekas 6%

**LAMPIRAN L DATA PENGAMATAN TINGGI TANAMAN PADA UJI UTAMA**

Hari	A1			A2			A3		
	T1	T2	T3	T1	T2	T3	T1	T2	T3
0	20	20	20	20	20	20	20	20	20
3	20.2	20.8	20.5	20.2	20.4	20.3	20.3	20.4	21.4
6	20.5	21.9	21.3	20.3	20.9	21	20.8	21.2	22.5
9	21.3	23.6	22.1	20.5	21.6	22.4	20.8	22.4	22.5
12	21.9	25	23.4	20.7	22.4	23.5	21.2	23	23.2
15	22.2	25.7	24.9	20.9	23.1	24.8	22.6	23.5	24

Hari	B1			B2			B3			Kontrol		
	T1	T2	T3	T1	T2	T3	T1	T2	T3	T1	T2	T3
0	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
3	21.3	20.4	23.1	20.6	20.2	22.4	21.6	20.9	20.1	22.1	24.7	22.8
6	23.6	20.9	31.5	21.2	20.4	26	23.8	23.7	20.4	23.6	33.3	25.7
9	25.5	21.5	33.4	21.3	20.4	26.4	23.8	23.8	20.4	32.5	39.1	33.6
12	27.2	22.1	34.1	22	20.7	27	24.1	28.4	20.6	41.3	52.3	45.5

Hari	B1			B2			B3			Kontrol		
	T1	T2	T3	T1	T2	T3	T1	T2	T3	T1	T2	T3
15	28.2	23.3	35.7	25	21.1	28.7	24.9	30.7	20.7	52.2	58.7	55.6

Keterangan : Satuan data dalam cm.



## LAMPIRAN M HASIL ANALISIS KONSENTRASI PELUMAS BEKAS

Analisis Hari ke-10

Variabel	Berat pasir (gram)	Berat Labu (gram)	Berat Labu + minyak (gram)	Berat pelumas (gram)	Konsentrasi pelumas (g/kg)	Konsentrasi Pelumas (%)	%re mova l
A1	20	108.3264	109.084	0.7576	37.88	3.79%	5.30 %
A2	20	106.4587	107.2226	0.7639	38.20	3.82%	4.51 %
A3	20	107.3187	108.091	0.7723	38.61	3.86%	3.46 %
B1	20	98.8625	99.6092	0.7467	37.34	3.73%	6.66 %
B2	20	106.5693	107.3193	0.75	37.50	3.75%	6.25 %
B3	20	107.4776	108.2279	0.7503	37.52	3.75%	6.21 %

Analisis hari ke-20

Variabel	Berat pasir (gram)	Berat Labu (gram)	Berat Labu + minyak (gram)	Berat pelumas (gram)	Konsentrasi pelumas (g/kg)	Konsentrasi Pelumas (%)	%re mova l
A1	20	108.3021	109.003	0.7009	35.05	3.50%	12.39 %
A2	20	106.4677	107.1771	0.7094	35.47	3.55%	11.32 %
A3	20	107.3024	108.018	0.7156	35.78	3.58%	10.55 %
B1	20	98.8587	99.5424	0.6837	34.19	3.42%	14.54 %
B2	20	106.5614	107.2591	0.6977	34.88	3.49%	12.79 %
B3	20	107.479	108.1702	0.6912	34.56	3.46%	13.60 %

Analisis Hari ke-30

Variabel	Berat pasir (gram)	Berat Labu (gram)	Berat Labu + minyak (gram)	Berat pelumas (gram)	Konsentrasi pelumas (g/kg)	Konsentrasi Pelumas (%)	%re mova l
A1	20	108.3261	108.9689	0.6428	32.14	3.21%	19.65 %
A2	20	106.4902	107.148	0.6578	32.89	3.29%	17.78 %
A3	20	107.3166	107.985	0.6684	33.42	3.34%	16.45 %
B1	20	98.8592	99.4858	0.6266	31.33	3.13%	21.68 %
B2	20	106.5671	107.2121	0.645	32.25	3.23%	19.37 %
B3	20	107.4798	108.1195	0.6397	31.99	3.20%	20.04 %

## LAMPIRAN N DATA PENGUKURAN SUHU PADA UJI UTAMA

Hari	A1	A2	A3	B1	B2	B3
0	33.4	33.2	33.4	33.3	33.5	33.4
3	34.1	34.0	33.8	34.2	34.2	34.2
6	34.3	34.3	34.1	34.5	34.2	34.3
9	32.9	32.7	33	33.2	33.1	33.3
12	34.6	34.2	34.6	34.5	34.7	34.6
15	34.3	34	33.9	34	34.1	34.2
18	33.6	33.8	33.7	34.2	33.7	33.3
21	33.5	33.4	33.3	33.6	33.6	33.5
24	33.5	33.5	33.8	33.3	33.4	33.2
27	34.6	34.1	34.5	34.2	34.3	34.4
30	33.8	34.1	34.4	33.8	34	33.9

## LAMPIRAN O DATA PENGUKURAN KELEMBAPAN MEDIA

Hari	A1	A2	A3	B1	B2	B3
0	60%	66%	72%	59%	67%	73%
3	62%	68%	68%	62%	69%	70%
6	65%	70%	76%	64%	71%	75%
9	67%	72%	73%	66%	72%	72%
12	70%	74%	79%	69%	74%	76%
15	72%	76%	84%	70%	75%	80%
18	73%	79%	82%	73%	77%	79%
21	75%	80%	85%	74%	79%	84%
24	76%	83%	83%	75%	80%	81%
27	78%	84%	89%	78%	80%	88%
30	79%	85%	88%	80%	82%	86%

## LAMPIRAN P ANALISIS MIKROORGANISME



a



b



c



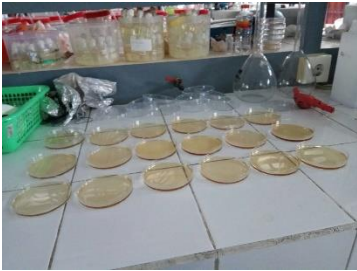
d



e



f



g

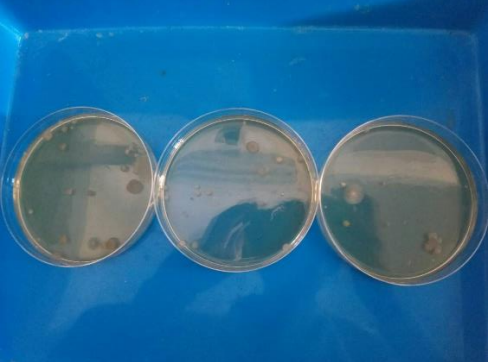
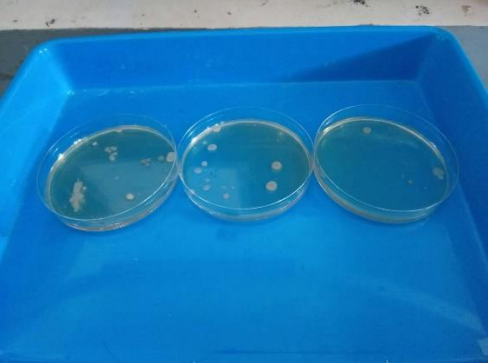


h

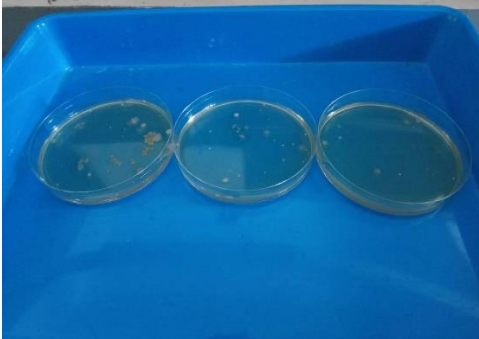
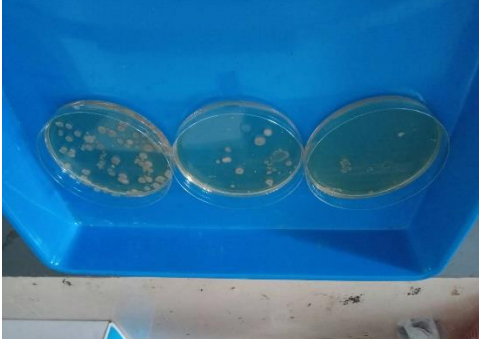

Keterangan :

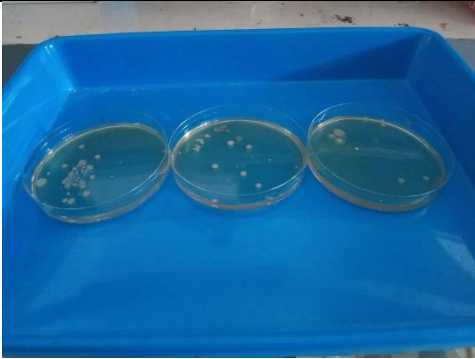
- a = Menimbang padatan agar dan NaCl, 20 gram agar untuk 1 liter larutan agar dan 8,5 gram NaCl untuk 1 gram NaCl.
- b = melarutkan agar dengan cara memanaskan hingga mendidih dan diaduk agar padatan larut.
- c = Larutan agar dan NaCl di *autoclave* agar steril.
- d = Sampel 20 gram dilarutkan dengan aquades hingga 20ml kemudian diambil 1 ml menggunakan mikropipet ke dalam tabung reaksi dengan 9ml larutan NaCl yang telah disterilkan.
- e = Larutan pada tabung reaksi I diambil sebanyak 1 ml dan dilarutkan ke tabung reaksi ke II. Dilakukan pengulangan hingga tabung reaksi ke VII.
- f = Pada tabung ke V,VI dan VII diambil 0,1 ml menggunakan mikropipet dan ditetaskan ke media plate agar dari langkah c yang telah disiapkan dan diratakan.
- g,h = Cawan petri ditutup dan disusun untuk diinokulasi selama 24 jam dan dihitung jumlah koloni bakteri.

**LAMPIRAN Q DATA HASIL PENGAMATAN KOLONI  
MIKROORGANISME**

No.	Variabel	Gambar
1	A1	 A photograph showing three petri dishes arranged horizontally on a blue surface. Each dish contains a clear, slightly turbid liquid medium with several small, dark, circular bacterial colonies scattered throughout. The colonies appear to be of varying sizes and are more densely packed in some areas than others.
2	A2	 A photograph showing three petri dishes arranged horizontally on a blue surface. The medium in these dishes is significantly clearer than in the first set. There are fewer and smaller bacterial colonies visible, which are more sparsely distributed across the surface of the medium.



No.	Variabel	Gambar
3	A3	
4	B1	
5	B2	

No.	Variabel	Gambar
6	B3	 A photograph showing three petri dishes containing bacterial cultures, arranged on a blue plastic tray. The cultures appear as small, white, circular colonies on a clear agar medium. The dishes are positioned in a row, and the tray is set against a light-colored background.

## BIOGRAFI PENULIS



**Alif Yoga Winata** berasal dari Kabupaten Semarang, Jawa Tengah dan lahir pada tanggal 15 Mei 1996. Penulis merupakan anak pertama (tiga bersaudara) dari pasangan Idrus Ishak dan Estri Sukoyanti.

Penulis telah mengenyam pendidikan di SDN 01 Susukan (2002-2008), MTsN Susukan (2008-2011), SMAN 01 Salatiga (2011-2014). Kemudian melanjutkan pendidikan di Departemen Teknik Lingkungan,

Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan, dan Kebumihan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

Pada masa perkuliahan penulis aktif di Komunitas Kelompok Pecinta dan Pemerhati Lingkungan (KPPL) Departemen Teknik Lingkungan, menjadi Ketua Karang Taruna Desa Susukan, dan Remaja Masjid Dusun Deresan. Penulis mengikuti beberapa acara kepanitiaan di Himpunan Mahasiswa Teknik Lingkungan dan ITS baik skala regional maupun nasional. Pada bidang Teknik Lingkungan penulis menjadi asisten laboratorium untuk mata kuliah Remediasi Badan Air dan Pesisir. Penulis juga berkesempatan untuk kerja praktik di Star Energy (Kakap), Ltd. di Natuna, Kepulauan Riau (Periode Juli-Agustus 2017).

Apabila terdapat kritik dan saran yang dapat membangun ataupun segala bentuk komunikasi dengan penulis mengenai tugas akhir ini dapat melalui email **alifyoga96@gmail.com**.