

UJI KEMAMPUAN TANAMAN VETIVER
(*Chrysopogon zizanioides* (L.) Roberty)
SEBAGAI FITOREMEDIATOR PADA PROSES
BIOREMEDIASI TANAH TERKONTAMINASI PHC
(*Petroleum Hydrocarbon*)

Nama Mahasiswa : EFI INDRA YANI
NRP : 1507100064
Jurusan : BIOLOGI FMIPA-ITS
Dosen Pembimbing : AUNUROHIM, S.Si., DEA.
Dr. Ir. BUDHI PRIYANTO, M.Sc.

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk mengamati pengaruh penggunaan tanaman Vetiver (*Chrysopogon zizanioides*) terhadap penurunan nilai TPH, jumlah populasi bakteri serta pertumbuhan tanaman pada proses bioremediasi selama 3 bulan. Media terdiri dari campuran tanah dan pasir dengan perbandingan 2:3. *Crude oil* diambil dari industri rakyat pengeboran minyak bumi di Bojonegoro, Jawa Timur. Rancangan penelitian yang digunakan adalah Rancangan Acak Lengkap (RAL) berpola faktorial yang terdiri dari 2 faktor. Faktor 1: Konsentrasi *crude oil* yang terdiri dari 4 taraf: M0:0%, M1:1%, M3:3%, dan M10:10%. Faktor 2: Penggunaan Vetiver (*C. zizanioides*) yang terdiri dari 2 taraf: V0: tanpa menggunakan Vetiver dan V1: menggunakan Vetiver, diperoleh 8 kombinasi perlakuan, masing-masing diulang 3 kali. Hasil penelitian menunjukkan pemanfaatan Vetiver (*C. zizanioides*) meningkatkan jumlah populasi bakteri dan penurunan nilai TPH (*Total Petroleum Hydrocarbon*). Namun semakin banyak *crude oil* yang ditambahkan maka pertumbuhan *C. zizanioides* semakin rendah.

Kata kunci : Bioremediasi, *Chrysopogon zizanioides*, *crude oil*, TPH (*Total Petroleum Hydrocarbon*).

**THE ABILITY OF VETIVER
(*Chrysopogon zizanioides* (L.) Roberty)
AS PHYTOREMEDIATOR IN BIOREMEDIATION
PROCESS OF PHC (PETROLEUM HYDROCARBON)
CONTAMINATED SOIL**

Student's Name : EFI INDRA YANI
NRP : 1507100064
Major : BIOLOGI FMIPA-ITS
Counsellor : AUNUROHIM, S.Si., DEA.
Dr. Ir. BUDHI PRIYANTO, M.Sc.

Abstract

The research aims to investigate the effect of Vetiver (Chrysopogon zizanioides) to the decreasing of TPH concentration, the population of bacteria, and C. zizanioides growth in bioremediation process. All parameters were tested both on PHC (Petroleum Hydrocarbon) contaminated soil, C. zizanioides planted or not planted after 3 months of observation. Media consists of a mixture Soil and Sand with ratio 2 Crude oil was taken from small scale crude oil drilling industry in Bojonegoro, East Java. The experimental design is factorial randomized complete design consists of 2 factors. Factor 1 is crude oil concentration, it consists of 4 levels; M0:0%, M1:1%, M3:3%, and M10:10%. Factor 2 is C. zizanioides, it consists of 2 levels; V0: without Vetiver plant and V1: using Vetiver plant. There are 8 combination: each treatment is repeated 3 times. Then the results showed that C. zizanioides plant affected the decreasing of TPH concentration, the bacteria population and the C. zizanioides plant growth. However the increasing of TPH concentration affected the C. zizanioides plant growth.

Keywords: *Bioremediation, Chrysopogon zizanioides, Crude oil, TPH (Total Petroleum Hydrocarbon).*



TUGAS AKHIR - SB091358

**UJI KEMAMPUAN TANAMAN VETIVER
(*Chrysopogon zizanioides* (L.) Roberty)
SEBAGAI FITOREMEDIATOR PADA
PROSES BIOREMEDIASI TANAH
TERKONTAMINASI PHC (*PETROLEUM
HYDROCARBON*)**

EFI INDRA YANI
NRP. 1507100064

Dosen Pembimbing:
AUNUROHIM, S.Si., DEA.
Dr. Ir. BUDHI PRIYANTO, M.Sc.

JURUSAN BIOLOGI
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2012



FINAL PROJECT - SB091358

**THE ABILITY OF VETIVER
(*Chrysopogon zizanioides* (L.) Roberty)
AS PHYTOREMEDIATOR IN
BIOREMEDIATION PROCESS OF PHC
(PETROLEUM HYDROCARBON)
CONTAMINATED SOIL**

**EFI INDRA YANI
NRP. 1507100064**

**Advisor Lecturer:
AUNUROHIM, S.Si., DEA.
Dr. Ir. BUDHI PRIYANTO, M.Sc.**

**BIOLOGY DEPARTMENT
Faculty Mathematics And Natural Science
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2012**

UJI KEMAMPUAN TANAMAN VETIVER
(Chrysopogon zizanioides (L.) Roberty)
SEBAGAI FITOREMEDIATOR PADA PROSES
BIOREMEDIASI TANAH TERKONTAMINASI PHC
(PETROLEUM HYDROCARBON)

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Memperoleh Gelar
Sarjana Sains

Pada

Jurusan S-1 Jurusan Biologi
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

EFI INDRA YANI
NRP. 1507 100 064

Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir:

Aunurohim, S.Si., DEA. (Pembimbing I)

Dr. Ir. Budhi Priyanto, M.Sc. (Pembimbing II)

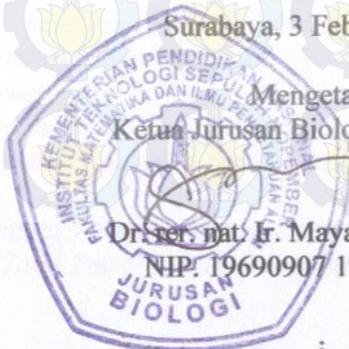
Surabaya, 3 Februari 2012

Mengetahui

Ketua Jurusan Biologi FMIPA ITS

Dr. rer. nat. Ir. Maya Shovitri, M.Si

NIP. 19690907 199803 2 001



DAFTAR ISI

Halaman

HALAMAN PENGESAHAN.....	i
ABSTRAK	ii
ABSTRACT	iii
KATA PENGANTAR.....	iv
DAFTAR ISI	vi
DAFTAR TABEL.....	viii
DAFTAR GAMBAR	ix
DAFTAR LAMPIRAN	xi
BAB I. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar belakang.....	1
1.2 Permasalahan.....	4
1.3 Batasan Masalah.....	4
1.4 Tujuan	4
1.5 Manfaat	4
BAB II. TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Tanaman Vetiver (<i>Chrysopogon zizanioides</i> (L.) Roberty)	5
2.2 Hidrokarbon Petroleum / PHC (<i>Petroleum Hydrocarbon</i>).....	7
2.2.1 Alifatik	8
2.2.2 Aromatik	9
2.3 Sifat dan Dampak dari PHC terhadap Lingkungan	9
2.3.1 Sifat dan Dampak dari PHC terhadap Manusia	9
2.3.2 Sifat dan Dampak dari PHC terhadap Tumbuhan..	10
2.3.3 Sifat dan Dampak dari PHC terhadap Hewan	11
2.4 Parameter Pengolahan Limbah PHC.....	12
2.5 Bioremediasi Tanah Terkontaminasi PHC	13
2.6 Fitoremediasi.....	14
2.7 Respon Tanaman pada Tanah yang Tekontaminasi PHC.....	16
2.8 Rizosfer	17
2.9 Mikroorganisme Pendegradasi PHC	21

2.10 Mekanisme Biodegradasi PHC	22
2.11 Faktor Lingkungan yang Mempengaruhi Biodegradasi PHC	24
BAB III. METODOLOGI	29
3.1 Waktu dan Tempat Penelitian	29
3.2 Persiapan Alat dan Bahan	29
3.2.1 Alat.....	29
3.2.2 Bahan	29
3.3 Prosedur Kerja.....	29
3.4 Rancangan Penelitian	34
3.5 Analisa Data	35
BAB IV. HASIL DAN PEMBAHASAN	37
4.1 Pengaruh <i>Crude oil</i> terhadap Pertumbuhan <i>Chrysopogon zizanioides</i>	37
4.1.1 Pengaruh <i>Crude oil</i> terhadap Tinggi Tanaman/ Panjang Tajuk	37
4.1.2 Pengaruh <i>Crude oil</i> terhadap Jumlah Anakan.....	39
4.1.3 Pengaruh <i>Crude oil</i> terhadap Panjang Akar.....	41
4.1.4 Pengaruh <i>Crude oil</i> terhadap Biomassa <i>Chrysopogon zizanioides</i>	43
4.2 Pengaruh <i>Crude oil</i> terhadap Jumlah Bakteri <i>Bulk Soil</i> dan Bakteri Rizosfer <i>Chrysopogon zizanioides</i>	46
4.3 Penurunan Nilai Hidrokarbon Petroleum Total (<i>Total Petroleum Hydrocarbon/TPH</i>)	49
4.4 Parameter Lingkungan	55
BAB V. KESIMPULAN	59
5.1 Kesimpulan	59
5.2 Saran	59
DAFTAR PUSTAKA	61
LAMPIRAN	65

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 2.1. Parameter hasil bioremediasi tanah terkontaminasi	13
	34
Tabel 3.1. Rancangan percobaan 2 faktor	38
Tabel 4.1. Tinggi tanaman <i>C. zizanioides</i> pada tiap perlakuan <i>crude oil</i>	40
Tabel 4.2. Jumlah anaakan tanaman <i>C. zizanioides</i> pada tiap perlakuan <i>crude oil</i>	41
Tabel 4.3. Panjang akar tanaman <i>C. zizanioides</i> pada tiap perlakuan <i>crude oil</i>	44
Tabel 4.4. Biomassa akar dan tajuk tanaman <i>C. zizanioides</i> pada tiap perlakuan <i>crude oil</i>	45
Tabel 4.5. Nilai rata-rata biomassa total tanaman <i>C. zizanioides</i> pada tiap perlakuan <i>crude oil</i>	47
Tabel 4.6. Jumlah bakteri <i>bulk soil</i> pada media menggunakan <i>C. zizanioides</i>	51
Tabel 4.7. Nilai rata-rata TPH pada awal dan akhir penelitian	52
Tabel 4.8. Penurunan rata-rata pada interaksi perlakuan <i>crude oil</i> dan pemanfaatan <i>C. zizanioides</i> setelah 3 bulan.....	52

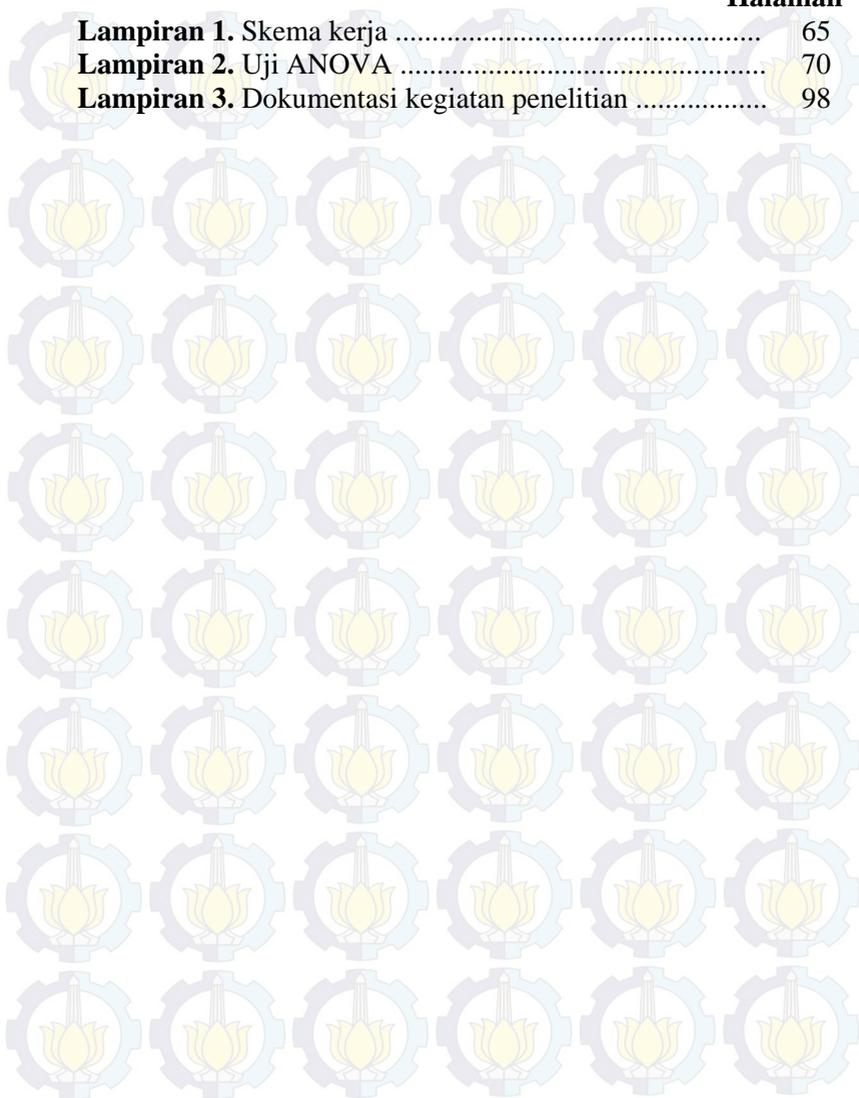
DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1. Tanaman Vetiver	5
Gambar 2.2. Panjang akar Vetiver	6
Gambar 2.3. Panjang akar Vetiver	8
Gambar 2.3. Klasifikasi senyawa TPH	16
Gambar 2.4. Berbagai mekanisme skematis penghilangan kontaminan oleh tanaman	17
Gambar 2.5. Proses biotik dan abiotik yang mempengaruhi degradasi kontaminan organik	18
Gambar 2.6. Daerah perakaran rhizosfer	23
Gambar 2.7. Penggunaan hidrokarbon oleh bakteri	33
Gambar 3.1. Skema rangkaian <i>soxhlet aparratus</i>	38
Gambar 4.1. Grafik tinggi tanaman <i>C. zizanioides</i> pada tiap perlakuan <i>crude oil</i>	39
Gambar 4.3. Tinggi tanaman <i>C. zizanioides</i> pada tiap perlakuan <i>crude oil</i>	42
Gambar 4.4. Grafik panjang akar tanaman <i>C. zizanioides</i> pada tiap perlakuan <i>crude oil</i>	42
Gambar 4.5. Panjang akar tanaman <i>C. zizanioides</i> pada tiap perlakuan <i>crude oil</i>	44
Gambar 4.6. Grafik biomassa akar dan tajuk tanaman <i>C. zizanioides</i> pada tiap perlakuan <i>crude oil</i> ...	48
Gambar 4.7. Grafik jumlah bakteri <i>bulk soil</i> pada media menggunakan <i>C. zizanioides</i>	47
Gambar 4.8. Grafik jumlah bakteri rhizosfer pada media tanpa <i>C. zizanioides</i> dan menggunakan <i>C. zizanioides</i>	49
Gambar 4.9. Grafik perbandingan jumlah bakteri rhizosfer dan non rhizosfer pada tiap	53

	perlakuan <i>crude oil</i>	
Gambar 4.5.	Grafik penurunan nilai TPH setelah 3 bulan penanaman <i>C. zizanioides</i>	55
Gambar 4.8.	Grafik perhitungan rerata pH masing-masing media tanpa <i>C. zizanioides</i> dan menggunakan <i>C. zizanioides</i>	56
Gambar 4.9.	Grafik perhitungan rerata kelembaban masing-masing media tanpa <i>C. zizanioides</i> dan menggunakan <i>C. zizanioides</i>	57
Gambar 4.9.	Grafik perhitungan rerata suhu masing-masing media tanpa <i>C. zizanioides</i> dan menggunakan <i>C. zizanioides</i>	

DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
Lampiran 1. Skema kerja	65
Lampiran 2. Uji ANOVA	70
Lampiran 3. Dokumentasi kegiatan penelitian	98



KATA PENGANTAR

Syukur Alhamdulillah segala puji bagi Allah SWT, berkat rahmat, karunia, izin dan pertolongan-Nya penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir (TA) yang berjudul “Uji Kemampuan Tanaman Vetiver (*Chryzopogon zizanioides* (L.) Roberty) Sebagai Fitoremediator Pada Proses Bioremediasi Tanah Terkontaminasi PHC (*Petroleum Hydrocarbon*)”. Penelitian ini dilakukan untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar Sarjana Sains pada Jurusan Biologi Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Pada kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih kepada Ibu Dr. rer. nat. Ir. Maya Shovitri, M.Si selaku ketua Jurusan Biologi FMIPA ITS; Bapak Aunurohim, S.Si., DEA. dan Bapak Dr. Ir. Budhi Priyanto, M.Sc. selaku dosen pembimbing Tugas Akhir; Bapak Mukhammad Muryono S.Si., M.Si. selaku koordinator Tugas Akhir; Ibu Kristanti Indah Purwani S.Si., M.Si., Ibu Dr. rer. nat. Ir. Maya Shovitri, M.Si., serta ; Bapak Mukhammad Muryono S.Si., M.Si. selaku dosen penguji sidang Tugas Akhir.

Ucapan terima kasih sebesar-besarnya kami sampaikan kepada Bapak Dr. Ir. Ikbal, M. Eng, selaku kepala Balai Teknologi Lingkungan yang telah memberikan kami izin untuk melakukan penelitian di Balai Teknologi Lingkungan BPPT Puspiptek Serpong, Tangerang Selatan; serta Bapak Dr. Ing. Abdul Kholik, M.Sc. atas informasi dan sarannya, Bapak Atang, Ibu Sati Suyati, dan Mas Yunus atas bantuannya selama penelitian, serta seluruh karyawan BTL-BPPT.

Dan tak lupa pula, ucapan terima kasih sebesar-besarnya terutama kepada Ibu, Bapak, Nenek, Mbak Aan, Alm. Mbak Elis, dan seluruh keluarga besar yang senantiasa selalu memotivasi dan mendukung baik secara moril maupun materi, terimakasih kepada Fery Sutanto yang selalu memberi dukungan dan motivasi, Indrawan Tauchid selaku rekan dalam pengerjaan Tugas Akhir,

Bapak Atang, Bapak Yunus, dan Ibu Saty yang selalu membantu di lapangan, Liza Feby K., Resky Surya N., Yusriah P., Senja Ike R., Siti Sundari, Eki Fitria H., Nur Ismiyati, Azizah Rahayu, Amalia C., Fajar Diah P., Rachma Sari, Bari Akbar, Mahmud, Dinda Dewi, Ni Ketut Dewi dan Ali Sauwibi, yang selalu membantu dan memberi dukungan, teman-teman Biologi ITS dan Komting angkatan 2007 yang selalu membantu dan memberi dukungan, pada semua pihak yang telah membantu dalam menyelesaikan Tugas Akhir yang tidak dapat disebutkan satu per satu.

Penulis menyadari bahwa dalam Tugas akhir yang telah disusun masih terdapat kekurangan, segala saran dan kritik sangat diharapkan, semoga Tugas Akhir ini dapat bermanfaat baik bagi penulis pada khususnya dan pembaca pada umumnya. Terima kasih.

Surabaya, 3 Februari 2012

Penulis

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Aktivitas industri perminyakan (pengeboran, pengilangan, proses produksi dan transportasi) umumnya menghasilkan limbah minyak mentah atau *crude oil* dan terjadi tumpahan di tanah maupun perairan (Udiharto 1996a dalam Herdiyanto 2005). Hidrokarbon petroleum/ *Petroleum Hydrocarbon* atau yang sering disebut PHC merupakan senyawa utama yang terdapat pada *crude oil* yang biasanya diukur sebagai *Total Petroleum Hydrocarbon* (TPH). *Petroleum Hydrocarbon* (PHC) bisa secara luas dibagi menjadi parafinik, asfaltik, dan campuran (Todd *et al.*, 1999 dalam Brandt, 2003). PHC dianggap polutan berbahaya dan mengandung senyawa yang bisa mengalami biokonsentrasi dan bioakumulasi dalam rantai makanan, merupakan toksik, dan beberapa fraksinya seperti benzena dan benzo[a]pirena diketahui sebagai mutagen dan karsinogen (Kamath, *et al.*, 2004).

Limbah dan tumpahan *crude oil* akan semakin meningkat sejalan dengan meningkatnya aktivitas industri perminyakan di lapangan. Penanganan yang tidak tepat dapat menyebabkan pencemaran lingkungan dan berbahaya bagi makhluk hidup (Dibble & Bartha 1979; Bartha & Bossert 1984; Bossert & Bartha 1984; Mishra *et al.* 2001; Santosa 2003 dalam Herdiyanto 2005).

Dalam UU No. 23/1997 dan PP No. 18/1999 disebutkan bahwa limbah *crude oil* termasuk kategori bahan berbahaya dan beracun (B3). Produsen dilarang menyimpannya terlalu lama tanpa pengolahan. Selain itu, produsen diwajibkan segera mengolahnya menjadi komponen-komponen yang tidak berbahaya dalam waktu 90 hari sejak limbah dihasilkan (Mursida 2002; Santosa 2003 dalam Herdiyanto 2005). Usaha penanggulangan pencemaran *crude oil* secara konvensional hasilnya kurang memuaskan. Membuang bahan pencemar dengan membenamkannya ke dalam tanah tidak menanggulangi masalah

Bahan tersebut dapat meresap ke air tanah dan mencemari perairan. Demikian juga dengan usaha pembakaran yang dapat mengakibatkan pencemaran udara (Kadarwati *et al.* 1996 dalam Herdiyanto 2005).

Alternatif lain yang dapat digunakan dalam penanggulangan pencemaran *crude oil* adalah teknologi bioremediasi yaitu menggunakan bakteri yang dalam aktivitasnya mampu memanfaatkan hidrokarbon yang ada pada *crude oil* sebagai sumber karbon dan energi kemudian mengubahnya menjadi CO₂, H₂O dan biomassa sel. Teknologi ini ramah lingkungan, efektif dan ekonomis. Penerapannya pada lingkungan yang tercemar *crude oil* diharapkan dapat mengurangi konsentrasi limbah *crude oil* yang ada dan membantu usaha penormalan kembali lingkungan tersebut (Dibble & Bartha 1979; Atlas 1981 Bossert & Bartha 1984; Udiharto *et al.* 1995; Udiharto *et al.* 2000; Yani *et al.* 2003 dalam Herdiyanto 2005). Dalam Kepmen No. 04/1995 disebutkan bahwa pengolahan limbah *crude oil* secara biologi harus dapat menurunkan konsentrasi hidrokarbon hingga mencapai ambang batas yang disyaratkan aman bagi lingkungan, yaitu 10000 ppm (Edvantoro 2003 dalam Herdiyanto 2005).

Bioremediasi untuk tanah terkontaminasi PHC merupakan pilihan yang menjanjikan dengan pembersihan yang cepat, murah dan risiko lebih kecil dibandingkan dengan metode pemulihan lingkungan secara fisika maupun kimia. Salah satu teknologi dalam proses bioremediasi adalah dengan menggunakan tanaman (fitoremediasi). Fitoremediasi didefinisikan sebagai pencucian polutan yang diremediasi oleh tanaman, termasuk pohon, rumput-rumputan, dan tanaman air. Tanaman meremediasi polutan organik melalui tiga cara, yaitu menyerap secara langsung bahan kontaminan, mengakumulasi metabolisme nonfitotoksik ke sel-sel tanaman, dan melepaskan eksudat serta enzim yang dapat menstimulasi aktivitas mikroba,

serta menyerap mineral pada daerah rizosfer. Tanaman juga dapat menguapkan sejumlah uap air. Dimana penguapan ini dapat mengakibatkan migrasi bahan kimia (Schnoor et.al., 1995).

Fitoremediasi tanah terkontaminasi PHC juga bisa dibantu dengan mengintroduksi spesies mikroba spesifik (bioaugmentasi) dengan karakteristik ideal untuk oksidasi atau degradasi kontaminan organik dan biostimulasi dengan menambahkan nutrisi organik dan anorganik (Alarcón, 2006). Menurut Frick dkk., secara umum degradasi PHC mungkin tidak dapat dilakukan secara langsung oleh tumbuhan. Tetapi tumbuhan akan bekerjasama dengan mikroba atau tergantung pada tipe polutan, jenis mikroba dan lingkungannya.

Salah satu tanaman yang dapat digunakan sebagai agen fitoremediasi untuk mendegradasi PHC adalah *Chrysopogon zizanioides*. *C. zizanioides* merupakan tanaman C4, termasuk tanaman perenial yang berumur panjang (10 tahun) dan mampu tumbuh pada rentang suhu -9 sampai 45°C serta toleran terhadap pH 4,5-10,5. *C.zizanioides* memiliki kapabilitas spesifik dalam mereduksi material organik seperti COD, BOD, amonia, dan juga logam seperti Zn (90%), As (60%), Pb (30-71%), dan Hg (13-15%). 10,5 (Kong *et al.*, 2000 dalam Ambarukmi dan Sriwuryandari, 2006). Disamping itu, tanaman ini juga memiliki kemampuan untuk mengurangi polutan hidrokarbon dalam tanah serta mampu bertahan hidup dan menumbuhkan tunas baru pada tanah yang telah tercemar hidrokarbon (Ambarukmi dan Sriwuryandari, 2006). Eksudat akar *C. zizanioides* berupa karbohidrat larut, asam organik, asam amino serta hormon pertumbuhan menyediakan sumber nutrisi dan energi untuk pertumbuhan mikroba di rhizosfer (Russel, 1982 dan Lynch, 1990).

Berdasarkan uraian di atas, maka diperlukan penelitian mengenai pemanfaatan tanaman Vetiver (*Chrysopogon*

zizanioides) pada proses bioremediasi tanah terkontaminasi PHC untuk mengetahui kemampuannya dalam mendegradasi PHC pada jenis dan konsentrasi *crude oil* yang berbeda.

1.2 Permasalahan

Permasalahan pada penelitian ini adalah :

1. Apakah Vetiver (*Chrysopogon zizanioides*) dapat meningkatkan degradasi PHC ?
2. Bagaimanakah pola degradasi PHC dengan adanya Vetiver (*Chrysopogon zizanioides*)?
3. Pada kadar berapakah degradasi PHC berlangsung optimum?

1.3 Batasan Masalah

Pengukuran efektivitas bioremediasi dalam penelitian ini dibatasi pada pengukuran nilai penurunan TPH (*Total Petroleum Hydrocarbon*) pada tanah yang terkontaminasi PHC dengan fitoremediasi menggunakan Vetiver (*Chrysopogon zizanioides*) selama 3 bulan.

1.4 Tujuan

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh penggunaan Vetiver terhadap tingkat degradasi PHC pada proses bioremediasi tanah yang terkontaminasi oleh PHC melalui mekanisme fitoremediasi.

1.5 Manfaat

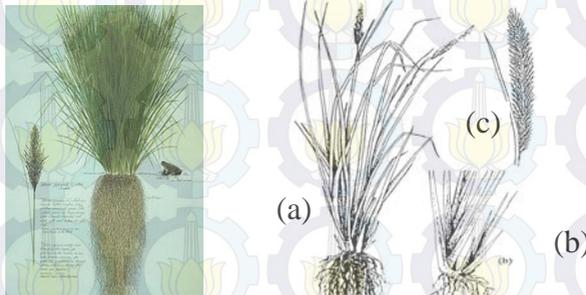
Adanya informasi mengenai kemampuan fitoremediasi yang dilakukan oleh vetiver (*Chrysopogon zizanioides*) pada proses bioremediasi tanah yang terkontaminasi PHC dapat digunakan sebagai salah satu informasi data untuk alternatif pengolahan limbah industri petroleum.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

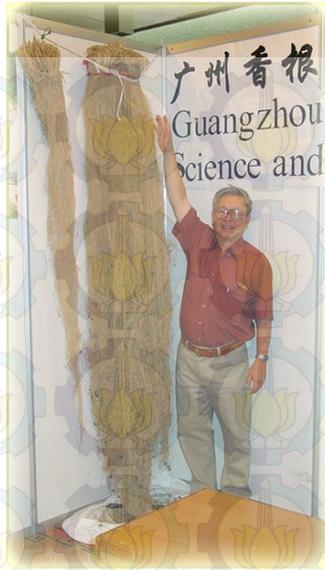
2.1 Tanaman Vetiver (*Chrysopogon zizanioides* (L.) Roberty)

Tanaman Vetiver (*Chrysopogon zizanioides*) merupakan rumput-rumputan perenial, dengan helai daun yang padat, dikarakterisasikan dengan batang yang kuat dan tegak dengan helai daun mencapai panjang 75 cm dan lebar 8 cm (World Bank, 1993 dalam Brandt, 2003).

C. zizanioides dikenal juga dengan nama tanaman kuskus atau tanaman akar wangi. Struktur morfologi yang mencolok pada tanaman Vetiver adalah sistem perakaran yang masif. Pada kondisi optimal, spesies ini mampu tumbuh cepat, mencapai 4 m pada kedalaman akar di tahun pertama. Akar vetiver menunjukkan kekuatan penetrasi yang sangat baik, akar vetiver mampu menembus tanah padat, termasuk tanah aspal. Tanaman ini tidak memiliki stolon ataupun rhizoma, sehingga mudah dikontrol. Menurut Nanakorn *et al.* (2000) dalam Chomchalow (2000), akar vetiver saling berikatan membentuk lapisan seperti dinding, yang memungkinkan tanaman ini mempertahankan air dan kelembaban, sehingga menciptakan lingkungan yang cocok untuk diversitas mikroorganisme di tanah. Morfologi tanaman dapat dilihat pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1. Tanaman Vetiver (*C. zizanioides*) : (a) tangkai, (b) akar, dan (c) bunga (Sumber : NRC, 1993)



Gambar 2.2. Panjang akar Vetiver (*Chrysopogon zizanioides*) bisa mencapai 2 m (Sumber : NRC, 1993)

C. zizanioides tidak hanya mampu bertahan pada suhu antara -14°C dan 55°C , tetapi juga mampu bertahan pada kekeringan, api, banjir, dan perendaman. Setelah berada pada kondisi cekaman, tanaman segera memulihkan metabolismenya kembali (Greenfield, 2000 dalam Brandt, 2003). Spesies ini menunjukkan toleransi pada berbagai faktor edafik tingkat ekstrim. Truong dan Baker (1997) dalam Brandt (2003), membuktikan toleransinya pada cakupan luas untuk pH tanah (3,3 sampai 9,5) dan tingkat tinggi untuk alkalinitas (33% Na), magnesiasitas (20 Cmol/kg Mg), dan salinitas (47,5 mS/cm). *C. zizanioides* juga menunjukkan ketahanan tinggi terhadap logam berat pada tanah seperti aluminium (68%-87%), 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 ($\text{Mn} > 578$ ppm).

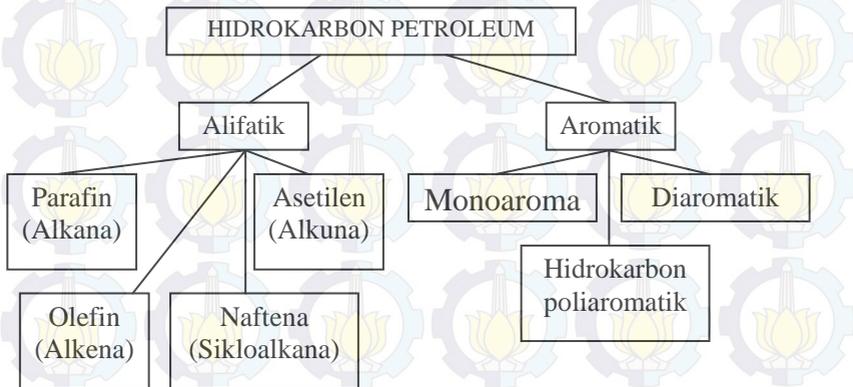
C. zizanioides termasuk kelompok tanaman fotosintesis C_4 . Jadi, spesies ini mampu bertahan dan berkompetisi di bawah kondisi kering dengan curah hujan tahunan minimum sekitar 200 mm. *C. zizanioides* membutuhkan ruangan terbuka yang terkena sinar matahari untuk hidup (NRC, 1993). Sejumlah penelitian yang berhasil terdapat di Australia dan Afrika Selatan, *C. zizanioides* digunakan untuk rehabilitasi emas, platina, batubara, dan hasil pertambangan lain (Truong, 1999 dalam Brandt, 2003). Investigasi di Cina menunjukkan efek positif *C. zizanioides* dalam memurifikasi limbah cair sampah perkotaan pada tanah (Xia *et al*, 1997) dan secara efisien menghilangkan fosfor dan nitrogen dari perairan eutrofik (Zheng, 1997 dalam Brandt, 2003).

2.2 Hidrokarbon Petroleum / PHC (*Petroleum Hydrocarbon*)

Petroleum dan turunannya merupakan campuran dari hidrokarbon gas, cair, dan gas. Komponen yang secara alami terbentuk pada reservoir crude oil disebut hidrokarbon petroleum. Deposit batuan sedimenter ini merupakan formasi baru yang berasal dari residu organik organisme kuno dan terbentuk di bawah panas, tekanan, dan kondisi anaerobik tereduksi selama periode waktu geologis (Brandt, 2003). Substansi ini bersifat toksik pada organisme tingkat tinggi (manusia, flora, fauna) dan organisme tingkat rendah seperti mikroorganisme (Atlas, 1981 dalam Susilorukmi dan Sriwuryandari, 2006). Pada tanah, toksisitas PHC pada organisme tanah, termasuk tanaman, terjadi bersamaan dengan perubahan fisik dan kimia pada tanah akibat kontaminasi PHC (Trofimov dan Rozanova, 2003).

Senyawa petroleum secara umum dapat diklasifikasikan menjadi dua kategori komponen utama: hidrokarbon dan non-hidrokarbon. Hidrokarbon hampir meliputi semua komponen dalam produk petroleum dan merupakan senyawa yang utama (tetapi tidak selalu) diukur sebagai *Total Petroleum Hydrocarbon* (TPH). Hidrokarbon petroleum atau PHC bisa secara luas dibagi menjadi hidrokarbon petroleum parafinik, aspaltik, dan campuran

(Todd *et al.*, 1999 dalam Brandt, 2003). Klasifikasi senyawa TPH dapat dilihat pada gambar berikut:



Gambar 2.3. Klasifikasi senyawa TPH (Sumber: Potter dan Simmons, 1998 dalam Brandt, 2003)

PHC dianggap polutan berbahaya dan mengandung senyawa yang bisa mengalami biokonsentrasi dan bioakumulasi dalam rantai makanan, merupakan toksik, dan beberapa fraksinya seperti benzena dan benzo[a]pirena diketahui sebagai mutagen dan karsinogen (Kamath, *et al.*, 2004). Konstituen hidrokarbon dapat dikelompokkan menjadi hidrokarbon jenuh, hidrokarbon tak jenuh, dan senyawa aromatik.

2.2.1 Alifatik

Alifatik dibagi lagi menjadi 4 kelas: parafin (alkana), olefin (alkena), asetilen (alkuna) dan naftan (sikloalkana). Parafin, olefin, dan asetilen merupakan hidrokarbon yang dibentuk dari rantai lurus atau bercabang. Parafin bersifat jenuh, sementara olefin dan asetilen merupakan hidrokarbon tidak jenuh karena masing-masing memiliki ikatan rangkap dua dan tiga. Naftan merupakan hidrokarbon jenuh dengan satu cincin atau lebih yang bisa dikombinasikan dengan satu rantai sisi parafin atau lebih. Hanya alifatik jenuh seperti parafin dan naftan yang berperan penting dalam analisis kualitas crude oil (Reis, 1996

dalam Brandt, 2003). Senyawa alifatik umumnya kurang toksik daripada aromatik dan toksisitasnya bervariasi tergantung pada ukuran senyawa (Edwards *et al.*, 1998 dalam Brandt, 2003).

2.2.2 Aromatik

Komponen struktural dari molekul hidrokarbon aromatik adalah satu atau lebih cincin enam karbon (benzena) yang menunjukkan stabilitas kimiawi yang tinggi akibat adanya ikatan rangkap dua. Cincinnya terkadang dihubungkan dengan cincin naftan yang tersubstitusi atau rantai sisi parafin. Hidrokarbon aromatik dibagi menjadi hidrokarbon monoaromatik, dikromatik, dan poliaromatik. Monoaromatik memiliki satu cincin seperti benzena, toluena, etilbenzena, dan xilena, yang dikenal sebagai BTEX. Diaromatik memiliki 2 cincin benzena yang berfusi. Hidrokarbon poliaromatik (*polyaromatic hydrocarbon/PAH*) merupakan struktur cincin aromatik terkondensasi dengan lebih dari dua cincin benzena berfusi. Hidrokarbon aromatik merupakan konstituen penting dalam analisis kualitas crude oil (Reis, 1996 dalam Brandt, 2003).

2.3 Sifat dan Dampak dari PHC terhadap Lingkungan

Hidrokarbon alifatik tidak bersifat polar atau sedikit memiliki molekul polar, sementara senyawa aromatik menunjukkan adanya polaritas. Sehingga, senyawa aromatik lebih larut dalam air daripada alifatik, sementara alifatik lebih mudah menguap. Senyawa dengan berat molekul rendah secara umum lebih larut dan mudah menguap daripada senyawa berberat molekul tinggi. PHC memiliki berbagai isomer, jumlah isomernya bertambah sesuai dengan penambahan jumlah karbon, yang menghasilkan kompleksitas kimia yang tinggi (Potter dan Simmons, 1998 dalam Brandt, 2003).

2.3.1 Sifat dan Dampak dari PHC terhadap Manusia

Menurut (Udiharto, 2000 dalam Herdiyanto, 2005) tingkat toksisitas PHC dapat bersifat akut atau kronik. Toksisitas akut terjadi dalam jangka waktu yang relatif pendek dengan

bahan yang berkontak di lingkungan cukup tinggi sedangkan toksisitas kronik terjadi dalam jangka waktu lama dengan bahan yang berkontak relatif lebih rendah. Pengaruh toksik akut pada umumnya menyerang system syaraf pusat. Sifat toksik yang kronik dapat mempengaruhi kerusakan sel sumsum tulang dan menyebabkan penyakit kanker.

2.3.2 Sifat dan Dampak dari PHC terhadap Tumbuhan

Menurut (Bossert dan Bartha,1984 dalam Herdiyanto 2005) tumpahan *crude oil* yang komponen utamanya terdiri dari senyawa PHC di permukaan tanah memberikan pengaruh negatif terhadap tumbuhan, yaitu toksisitas akibat kontak langsung atau tidak langsung karena adanya interaksi *crude oil* dengan komponen abiotik dan mikroorganisme tanah. Toksisitas kontak terjadi karena hidrokarbon melarutkan struktur membran lipid sel. Walaupun komponen *crude oil* bertitik didih rendah, cepat hilang melalui evaporasi dan pencucian (pada tanah dengan kondisi lembab dan beraerasi baik), tetapi menyebabkan toksisitas kontak yang tinggi terhadap akar dan daun. Tingkatan toksisitas sebagai berikut: monoaromatik > olefin dan naftalen > parafin dimana setiap tingkatan berbanding lurus dengan peningkatan polaritas dan berbanding terbalik dengan penambahan bobot molekul (Bossert & Bartha 1984 dalam Herdiyanto,2005). (Mason, 1996 dalam Herdiyanto,2005) menyebutkan tumpahan *crude oil* dapat menghambat laju fotosintesis karena mempengaruhi permeabilitas membran sel dan mengurangi penyerapan cahaya matahari oleh kloroplas. Pengaruh tidak langsung terjadi karena adanya kompetisi penggunaan nutrisi mineral dan oksigen antara akar tumbuhan dan mikroorganisme pendegradasi hidrokarbon dan mendorong terbentuknya kondisi anaerobik sehingga dihasilkan senyawa fitotoksik seperti H₂S. Selain itu, *crude oil* dengan sifatnya yang hidrofobik dapat menyebabkan struktur tanah menjadi buruk sehingga membatasi kemampuannya dalam menyerap air dan udara (Bossert & Bartha 1984 dalam Herdiyanto 2005). Kontaminasi PHC di permukaan tanah

menyebabkan terhambatnya perkembangan tumbuhan. (Mishra *et al.*, 2001 dalam Herdiyanto, 2005) melaporkan di lokasi kilang *crude oil* Mathura-India yang tercemar limbah *crude oil* tidak ada vegetasi yang tumbuh. Bossert dan Bartha (1984) dalam Herdiyanto (2005) menyebutkan bahwa tanaman umbi-umbian seperti ubi jalar dan singkong sangat sensitif terhadap PHC sedangkan mangga, pisang dan tanaman yang mempunyai rhizoma lebih mampu beradaptasi. Konsentrasi *crude oil* dalam jumlah sedang (1-5%) di atas permukaan tanah umumnya kurang merusak terhadap tumbuhan. Konsentrasi yang rendah (< 1%) kadang-kadang meningkatkan perkembangan tumbuhan. Hal ini mungkin disebabkan adanya bagian dari komponen hidrokarbon *crude oil* yang berfungsi sebagai hormon tumbuh (Bossert & Bartha 1984 dalam Herdiyanto 2005).

2.3.3 Sifat dan Dampak dari PHC terhadap Hewan

Invertebrata tanah mempunyai kandungan lipid yang tinggi dan laju metabolisme yang cepat sehingga sangat sensitif terhadap toksisitas kontak dari *crude oil* bertitik didih rendah. Hidrokarbon dengan titik didih yang lebih tinggi dan kurang fitotoksitasnya dapat menyumbat stomata mikroartropoda sehingga menghambat proses respirasi. Hal tersebut dijadikan dasar dalam mengendalikan larva nyamuk dengan menggunakan *crude oil* (Bossert & Bartha 1984 dalam Herdiyanto 2005). Amfibi lebih mudah terkena dampak negatif dari *crude oil* karena kulitnya yang permeabel. Pada percobaan dengan menggunakan beberapa konsentrasi *crude oil*, telur dapat menetas menjadi berudu tanpa dipengaruhi oleh konsentrasi *crude oil*. Tetapi, perkembangan berudu terhambat pada konsentrasi *crude oil* yang tinggi bahkan pada konsentrasi > 100 mg/l tidak ada berudu yang mengalami metamorfosa menjadi katak dewasa (Mason 1996 dalam Herdiyanto 2005). Tumpahan *crude oil* menyebabkan terganggunya perkembangbiakan burung karena lingkungan menjadi tidak sesuai untuk penetasan telur dan terdapatnya unsur beracun. Beberapa percobaan menunjukkan bahwa *crude oil* yang

diberikan pada kulit telur mallard (*Anas platyrhynchos*) menyebabkan telur tidak menetas karena terdapat komponen aromatik yang toksik bagi telur. Pada dosis 10 µl, embrio menjadi abnormal yang ditandai dengan berubahnya bentuk paruh, susunan tulang dan bulu burung yang tidak lengkap (Mason 1996).

Dampak lain dari PHC terhadap lingkungan diantaranya adalah menyebabkan pertumbuhan intensif dari mikroorganisme pengurai PHC sebagai hasil dari meningkatnya ketersediaan unsur C bersama dengan konsumsi nutrisi tanah. Hal ini mengakibatkan pula penurunan ketersediaan nutrisi untuk tanaman (Tiquia *et al.*, 2002). Penurunan ketersediaan unsur N bisa juga terjadi akibat inhibisi proses nitrifikasi dan amonifikasi atau akibat kehilangan nitrat (Suleimanov *et al.*, 2005). Beberapa penelitian menunjukkan bahwa bakteri nitrifikasi tidak ditemukan pada tanah yang baru terkontaminasi, tetapi proses nitrifikasi kemudian bertambah; material organik stabil dan kandungan N total meningkat signifikan setelah kontaminasi PHC. Peningkatan N total terjadi akibat peningkatan fiksasi N₂ dari atmosfer selama biodegradasi PHC. Degradasi oksidatif juga mengubah komposisi komunitas bakteri tanah, sehingga spesies selulolitik dan proteolitik aerobik menurun dan spesies yang memfiksasi N secara anaerob meningkat (Nicolotti dan Egli, 1998 dalam Robertson, 2007). Di bawah gangguan air dan pembatasan O₂ yang ekstrim, P akan direduksi dan lepas ke atmosfer sebagai hidrogen sulfida (Suleimanov *et al.*, 2005).

2.4 Parameter Pengolahan Limbah PHC

Pengolahan limbah tanah yang terkontaminasi PHC didasarkan pada kriteria yang dikeluarkan oleh menteri negara lingkungan hidup yang diatur dalam keputusan menteri lingkungan hidup no. 128 tahun 2003 tentang prosedur dan teknik untuk pengolahan limbah crude oil dan tanah tercemar crude oil secara biologis. Parameter hasil bioremediasi tanah terkontaminasi dapat dilihat pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1. Parameter hasil bioremediasi tanah terkontaminasi

Parameter	Nilai	Satuan
pH	6-9	
TPH	1,0	%
Benzena	1	µg/g
Toluena	10	µg/g
Etil benzena	10	µg/g
Total PAH (<i>polyaromatic hydrocarbons</i>)	10	µg/g
Logam berat TCLP (<i>Toxicity Characteristic Leaching Procedure</i>)		
Timbal, Pb	5	mg/L
Arsenik, As	5	mg/L
Barium, Ba	150	mg/L
Kadmium, Cd	1	mg/L
Kromium, Cr	5	mg/L
Tembaga, Cu	10	mg/L
Merkuri, Hg	0,2	mg/L
Selenium, Se	1	mg/L
Seng, Zn	50	mg/L

(Sumber: Keputusan Menteri Lingkungan Hidup, No. 128 tahun 2003 dalam PPLI,2000)

2.5 Bioremediasi Tanah Terkontaminasi PHC

Bioremediasi merupakan bagian dari bioteknologi lingkungan yang memanfaatkan proses alami biodegradasi dengan menggunakan aktivitas mikroorganisme yang dapat memulihkan tanah, air dan sedimen dari kontaminasi terutama senyawa organik (Yani *et al.* 2003 dalam Herdiyanto 2005).

Teknologi bioremediasi pada umumnya dapat dibedakan menjadi teknologi *ex situ* dan *in situ*. Teknologi *ex situ* adalah pengolahan yang mencakup pemindahan bahan yang terkontaminasi atau buangan limbah ke tempat lain untuk diolah lebih lanjut. Sebaliknya teknologi *in situ* mencakup pengolahan bahan yang terkontaminasi atau buangan limbah yang dilakukan tanpa memindahkan bahan-bahan tersebut ke tempat lain

(Kadarwati *et al.* 1996 dalam Herdiyanto 2005). Bioremediasi dapat mengatasi masalah-masalah yang tidak teratasi dengan cara-cara konvensional seperti secara mekanik, fisika dan proses kimia. Bioremediasi diharapkan dapat membersihkan lingkungan yang terkontaminasi oleh campuran kompleks dari senyawa-senyawa organik seperti limbah kilang *crude oil* (Kadarwati *et al.* 1996 dalam Herdiyanto 2005).

Ide yang mendasari bioremediasi adalah semua mikroorganisme mampu mengkonsumsi substrat dari alam untuk pertumbuhan dan metabolismenya. Bakteri, protista dan jamur sangat baik digunakan untuk mendegradasi molekul kompleks dengan memasukkan bahan tersebut ke dalam metabolismenya. Kemampuan untuk mendegradasi tergantung pada enzim yang diproduksi oleh mikroorganisme. PHC dapat didegradasi oleh mikroorganisme karena kemampuannya menghasilkan enzim yang selektif terhadap *crude oil* sebagai substratnya (Yani *et al.* 2003 dalam Herdiyanto 2005).

Menurut Wisjnupto (1996) dalam Herdiyanto (2005) bioremediasi mempunyai keuntungan dan kerugian yang harus dipertimbangkan. Dua keuntungan utama adalah biaya investasi yang rendah dan efektif dalam mengolah polutan sampai pada tingkat yang dapat diterima oleh lingkungan. Kerugiannya adalah dalam hal perancangan dan operasi karena dengan bioremediasi sistemnya harus dikelola dengan sangat baik. Tetapi hal ini seimbang dengan biaya investasi yang rendah. Masalah lain adalah kemungkinan adanya hasil samping yang tidak dikenal yang dapat tersebar tanpa terdeteksi selama proses bioremediasi. Pemantauan lapangan, adanya pengetahuan tentang produk degradasi dan studi tentang pengolahan yang cukup memadai akan memberikan informasi untuk mencegah penyebaran hasil samping yang tidak diinginkan.

2.6 Fitoremediasi

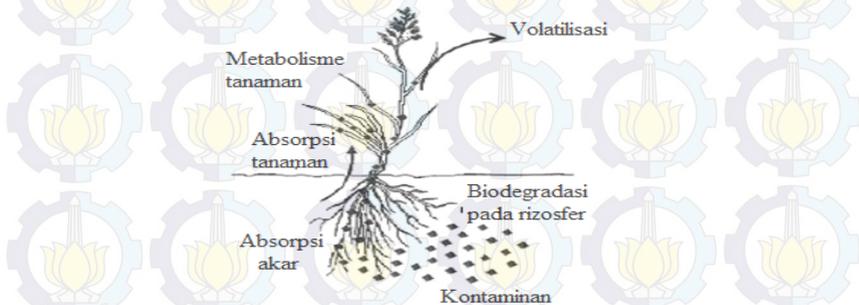
Fitoremediasi didefinisikan sebagai pencucian polutan yang dimediasi oleh tumbuhan, termasuk pohon, rumput-

rumpunan, dan tumbuhan air. Pencucian bisa berarti penghancuran, inaktivasi atau imobilisasi polutan ke bentuk yang tidak berbahaya (Chaney *et al.*, 1995; Alarcón, 2003; Robertson *et al.*, 2007). Proses fitoremediasi secara umum dibedakan proses sebagai berikut:

- 1) Fitostabilisasi (*phytostabilization*). Akar tumbuhan melakukan imobilisasi polutan dengan cara mengakumulasi, mengadsorpsi pada permukaan akar dan mengendapkan presipitat polutan dalam zona akar. (Eapen dan D'Souza, 2004).
- 2) Fitoekstraksi atau fitoakumulasi (*phytoextraction* atau *phytoaccumulation*). Fitoekstraksi adalah penggunaan tanaman pengakumulasi logam yang bisa memindahkan dan mengonsentrasikan logam dari tanah ke tunas yang dipanen dengan metode konvensional (Eapen dan D'Souza, 2004).
- 3) Rizofiltrasi (*rhizofiltration*). Akar tumbuhan mengadsorpsi atau presipitasi pada zona akar atau mengadsorpsi larutan polutan sekitar akar ke dalam akar. Proses ini digunakan untuk bahan larutan yang mengandung bahan organik maupun anorganik (Mangkoedihardjo, 2002).
- 4) Fitodegradasi atau fitotransformasi (*phytodegradation* atau *phytotransformation*). Organ tumbuhan menguraikan polutan yang diserap melalui proses metabolisme tumbuhan atau secara enzimatik (Eapen dan D'Souza, 2004).
- 5) Rizodegradasi (*rhizodegradation* atau *enhanced rhizosphere biodegradation* atau *phytostimulation* atau *plant-assisted bioremediation* atau *degradation*). Rizodegradasi kontaminan organik secara signifikan dilakukan dengan eksudasi akar (efek rizosfer) yang menstimulasi aktivitas mikrobial dan keberadaan asosiasi mikroba-tanaman yang bersifat simbiotik dan fakultatif. (Alarcón, 2006).
- 6) Fitovolatilisasi (*Phytovolatilization*). Penyerapan polutan oleh tumbuhan dan dikeluarkan dalam bentuk uap cair ke atmosfer. Kontaminan bisa mengalami transformasi sebelum

lepas ke atmosfer. Kontaminan zat-zat organik adalah tepat menggunakan proses ini. (Eapen dan D'Souza, 2004).

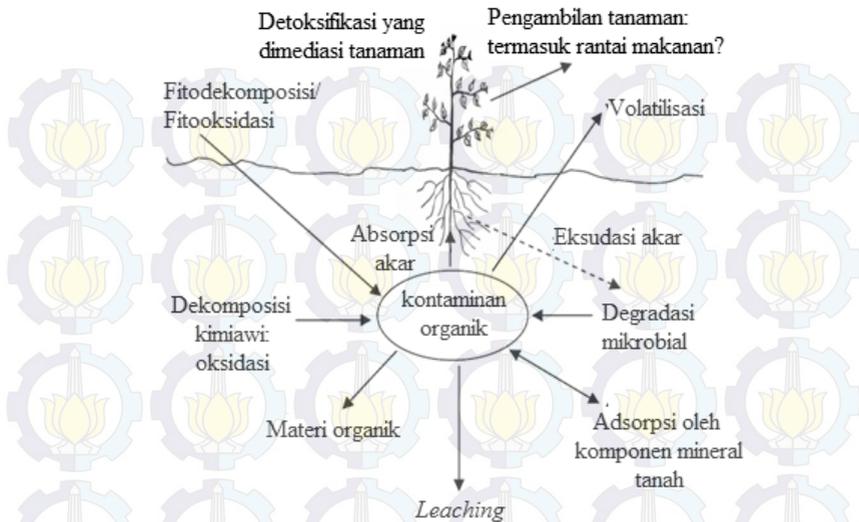
Fitoremediasi tanah terkontaminasi PHC juga bisa dibantu dengan mengintroduksi spesies mikroba spesifik (bioaugmentasi) dengan karakteristik ideal untuk oksidasi atau degradasi kontaminan organik dan biostimulasi dengan menambahkan nutrisi organik dan anorganik serta optimasi perbandingan C:N:P (Alarcón, 2006).



Gambar 2.4. Berbagai mekanisme skematis penghilangan kontaminan oleh tanaman (Sumber : Schnoor *et al*, 1995)

2.7 Respon Tanaman pada Tanah Tekontaminasi PHC

PHC pada tanah menimbulkan lingkungan yang mencekam tanaman. Efek negatif PHC pada tanaman terjadi di atas permukaan tanah dan di bawah permukaan tanah. Beberapa pengaruh terhadap fisiologi tanaman yang dipaparkan pada PAH berhubungan dengan modifikasi sintesis enzim spesifik seperti laktase, dehalogenase, nitroreduktase, nitrilase, dan peroksidase) yang berkontribusi pada oksidasi inisial dan degradasi PAH pada rizosfer (Alarcón, 2006). Proses biotik dan abiotik yang mempengaruhi degradasi kontaminan organik dapat dilihat pada Gambar 2.5.



Gambar 2.5. Proses biotik dan abiotik yang mempengaruhi degradasi kontaminan organik (Sumber : Alarcón, 2006 dengan perubahan)

2.8 Rizosfer

Istilah rizosfer menunjukkan bagian tanah yang dipengaruhi perakaran tanaman (Subba Rao, 1994). Rizosfer dicirikan oleh lebih banyaknya kegiatan mikrobiologis dibandingkan kegiatan di dalam tanah yang jauh dari perakaran tanaman. Intensitas kegiatan semacam ini tergantung dari panjangnya jarak tempuh yang dicapai oleh eksudasi sistem perakaran. Istilah “efek rizosfer” menunjukkan pengaruh keseluruhan perakaran tanaman terhadap mikroorganisme tanah. Maka akan lebih banyak jumlah bakteri, jamur dan actinomycetes dalam tanah yang termasuk rizosfer dibandingkan tanah yang tidak memiliki rizosfer. Beberapa faktor seperti tipe tanah, kelembaban tanah, pH dan temperatur, dan umur serta kondisi tanaman mempengaruhi efek rizosfer. Daerah perakaran rhizosfer dapat dilihat pada Gambar 2.6.



(A)

(B)

Gambar 2.6. Daerah perakaran rhizosfer : (A) Perakaran, (B) perbesaran mikroskop daerah perakaran / rizosfer

Efek rizosfer selain tampak dalam bentuk melimpahnya jumlah mikroorganisme juga dalam adanya distribusi bakteri yang memiliki ciri mempunyai kebutuhan khusus, yaitu asam amino, vitamin-vitamin B, dan faktor pertumbuhan khusus (kelompok nutrisi). Laju kegiatan metabolik mikroorganisme rizosfer itu berbeda dengan laju kegiatan metabolik mikroorganisme dalam tanah non-rizosfer.

Menurut Wood (1989), rizosfer adalah bagian tanah di mana lebih banyak terdapat bakteri di sekitar akar tanaman daripada tanah yang jauh dari akar tanaman. Rizosfer juga dibedakan menjadi daerah permukaan akar (*rizoplan*) dan daerah sebelah luar dari akar itu sendiri (*endorizosfer*). Selain menghasilkan efek biologi, akar juga mempengaruhi sifat kimia dan sifat fisika tanah, sehingga secara tidak langsung mempengaruhi mikroorganisme tanah. Clark (1942) dalam Bruehl (1987) menyatakan rizoplan adalah habitat khusus atau lokasi aktivitas mikrobial. Rizoplan atau permukaan akar mendukung terjadinya aktivitas biologi yang tinggi serta memiliki sensitivitas yang tinggi terhadap pengaruh akar pada mikroflora dan mikrofauna tanah. Analisa terhadap struktur halus atau lapisan epitel dari perakaran tanaman setelah diinokulasi dengan bakteri khusus menunjukkan bahwa bakteri menjadi lekat pada permukaan perakaran dengan bantuan dari lapisan eksternal yang bersifat musilagen atau disebut 'musigel' yang secara normal terdapat pada sistem perakaran yang sedang aktif tumbuh.

Rasio rizosfer terhadap tanah (R : S) dapat digunakan untuk memperkirakan perubahan dalam populasi mikroba yang disebabkan pertumbuhan tanaman. Rasio R : S dihitung dengan membagi jumlah mikroorganisme dalam rizosfer tanah dengan jumlah mikroorganisme dalam tanah yang bebas dari pertumbuhan tanaman. Hasilnya dapat dinyatakan berdasarkan berat akar bersama dengan tanah yang melekat padanya. Efek rizosfer yang lebih besar dijumpai lebih banyak karena bakteri (nilai R : S memiliki rentangan dari 10 hingga 20 atau seringkali lebih) daripada karena actinomycetes atau jamur. Sedangkan karena protozoa atau alga hanya dapat dilihat perubahan yang sangat kecil.

Daerah sekitar perakaran, rizosfer, relatif kaya akan nutrisi / unsur hara di mana fotosintat tanaman hilang sebanyak 40% dari akar. Konsekuensinya dukungan rizosfer cukup besar dan kemampuan menggunakan populasi mikrobial aktif yang bermanfaat, netral atau yang merusak berpengaruh terhadap pertumbuhan tanaman. Pentingnya populasi mikrobial di sekitar rizosfer adalah untuk memelihara kesehatan akar, pengambilan nutrisi atau unsur hara, dan toleran terhadap stress / cekaman lingkungan pada saat sekarang telah dikenal. Mikroorganisme menguntungkan ini dapat menjadi komponen yang signifikan dalam manajemen pengelolaan untuk dapat mencapai hasil, yang mana ditegaskan bahwa hasil tanaman budidaya dibatasi hanya oleh lingkungan fisik alamiah tanaman dan potensial genetik bawaan.

Umumnya rizosfer dari kebanyakan tanaman mengandung bakteri *Gram negatif*, tidak berspora, berbentuk batang, dan terdapat pada daerah rizoplan. Beberapa genus bakteri ini adalah *Pseudomonas*, *Arthrobacter*, *Agrobacterium*, *Azotobacter*, *Mycobacterium*, *Flavobacterium*, *Cellulomonas*, *Micrococcus*, dsb., ditemukan dalam jumlah yang banyak namun ada juga yang tidak ditemukan sama sekali. Bakteri yang membutuhkan asam amino lebih banyak terdapat di daerah rizoplan dan daerah rizosfer dibandingkan tanah di luar rizosfer.

Actinomycetes penghasil antibiotik lebih banyak terdapat dalam rizosfer dibandingkan tanah tanpa rizosfer.

Rizosfer dapat mengalami perubahan, di antaranya diakibatkan oleh: (1) penambahan tanah; (2) pemberian nutrisi melalui daun; dan (3) inokulasi artifisial biji atau tanah yang mengandung sediaan mikroorganisme hidup, terutama bakteri. Banyak percobaan telah dilakukan untuk meneliti pengaruh penambahan pupuk N, P, dan K terhadap mikroflora rizosfer. Hasilnya masih belum dapat digenulisasikan karena penambahan maupun penurunan R : S telah dilaporkan terjadi sebagai suatu akibat dari penggunaan pupuk.

Translokasi hasil fotosintesis dari daun ke akar merupakan bagian dari kegiatan metabolik normal pada tumbuhan. Oleh karena itu bila ada bahan-bahan yang dibubuhkan secara sengaja ke daun dan masuk ke dalam jaringan daun, maka translokasinya tidak akan terlalu sulit. Banyak penelitian menemukan bahwa senyawa-senyawa yang disemprotkan ke daun ditemukan kembali dalam cairan yang dikeluarkan oleh perakaran tanaman. Bahan-bahan kimia yang diaplikasikan pada daun dapat meningkatkan atau menurunkan aktivitas mikroflora dalam rizosfer. Inokulan benih mikrobia seperti *Azotobacter*, *Beijerinckia*, *Rhizobium* atau mikroorganisme pelarut-P mungkin dapat membantu menciptakan adanya mikroorganisme yang menguntungkan di dalam rizosfer yaitu tepat di sekitar akar yang sedang tumbuh. Jumlah rizosfer meningkat pada tanah-tanah yang kering dibandingkan pada tanah-tanah basah. Temperatur dan kelembaban secara langsung berpengaruh terhadap mikroorganisme, dan secara tidak langsung terhadap tanaman. Pengaruh tidak langsung inilah yang kelihatannya lebih penting. Beberapa organisme secara nyata dapat langsung beradaptasi dengan rizosfer, namun dalam keberhasilannya membentuk koloni dengan akar dipengaruhi oleh adanya kompetisi dengan organisme lain dan kondisi tanamannya (Bruehl, 1987). Ketergantungan satu mikroorganisme terhadap mikroorganisme lain dalam hal produk ekstra-selular, terutama

asam amino dan faktor perangsang pertumbuhan, dapat dianggap sebagai suatu efek asosiatif dalam rizosfer. Beberapa penelitian menunjukkan adanya peningkatan kandungan asam amino dalam tanaman yang ditumbuhkan pada tanah yang di inokulasi dengan mikroorganisme khusus. Pengamatan serupa dilakukan dalam hal pengaruhnya terhadap peningkatan vitamin- B, auksin, giberellin, dan antibiotik. Diketahui bahwa senyawa giberellin dan yang serupa giberellin dihasilkan oleh genus-genus bakteri yang umumnya dijumpai di dalam rizosfer, seperti *Azotobacter*, *Arthrobacter*, *Pseudomonas* dan *Agrobacterium*.

2.9 Mikroorganisme Pendegradasi PHC

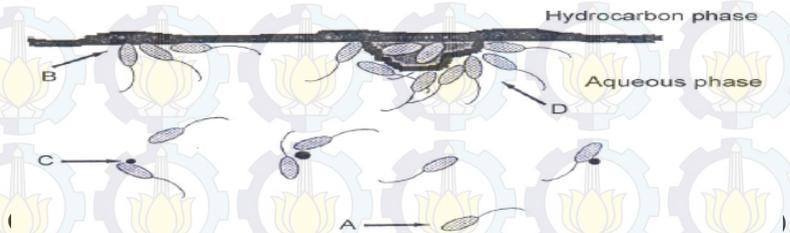
Keberhasilan biodegradasi PHC tergantung kepada aktivitas mikroorganisme dan kondisi lingkungannya. Menurut Kadarwati *et al.* (1994) dalam Herdiyanto (2005) mikroorganisme yang banyak hidup dan berperan di lingkungan yang terkontaminasi PHC adalah bakteri. Bakteri yang sesuai harus mempunyai kemampuan fisiologi dan metabolik untuk mendegradasi bahan pencemar (Udiharto *et al.* 2000 dalam Herdiyanto 2005). Menurut Miller (1995) dalam Herdiyanto (2005) bakteri mampu beradaptasi pada lingkungan hidrokarbon melalui beberapa cara, yaitu: (i) pembentukan bagian hidrofobik pada dinding sel sehingga meningkatkan afinitas sel terhadap hidrokarbon, (ii) dihasilkannya surfaktan ekstraselular yang dapat meningkatkan kelarutan hidrokarbon dan (iii) modifikasi intraselular membrane sitoplasmik yang dapat mengurangi toksisitas hidrokarbon terhadap bakteri. Dalam beberapa hal, lingkungan yang akan dilakukan bioremediasi sudah terdapat bakteri indigenous tetapi untuk mendapatkan hasil yang lebih baik perlu ditambahkan bakteri eksogenous yang lebih sesuai (Noegroho 1999). Mishra *et al.* (2001) dalam Herdiyanto (2005) menyatakan jika jumlah bakteri indigenous kurang dari 105 SPK/g tanah maka biodegradasi tidak berjalan maksimal sehingga perlu dilakukan penambahan bakteri eksogenous. Atlas (1981) dalam Herdiyanto (2005) melaporkan sejumlah mikroorganisme

pendegradasi PHC, yaitu: (i) Bakteri: *Pseudomonas*, *Achromobacter*, *Arthrobacter*, *Micrococcus*, *Nocardia*, *Vibrio*, *Acinetobacter*, *Brevibacterium*, *Corynebacterium*, *Flavobacterium*, *Leucothrix*, *Rhizobium*, *Spirillum*, *Alcaligenes*, *Xanthomonas*, *Cytophaga*, *Thermomicrobium* dan *Klebsiella*; (ii) Khamir: *Candida*, *Rhodotorulla*, *Aurobasidium*, *Rhodosporidium*, *Saccharomyces*, *Sporobolomyces*, *Trichosporon* dan *Cladosporium*; (iii) Fungi: *Penicillium*, *Cunninghamella*, *Verticillium* spp., *Aspergillus*, *Mucoterales*, *Monilales*, *Graphium*, *Fusarium*, *Trichoderma*, *Acremonium*, *Mortierella*, *Gliocladium* dan *Sphaerosporales*; (iv) Algae: *Protophoca* dan (v) Cyanobacteria: *Mierocoleus* sp., *Anabaena* spp., *Agmenellum* sp., *Coccochloris* sp., *Nostoc* sp., *Chlorella* spp., *Dunaalella* sp., *Ulva* sp., *Amphora* sp., *Chlamydomonas* sp., *Cylindrotheca* dan *Petalonia*. Walker *et al.* (1975) dalam Herdiyanto (2005) melaporkan kemampuan alga (*Protophoca zopfii*) dalam mendegradasi minyak. Pada crude oilmotor senyawa aromatic terdegradasi lebih besar daripada senyawa hidrokarbon jenuh sedangkan pada crude oilsenyawa hidrokarbon jenuh terdegradasi lebih besar daripada aromatik.

2.10 Mekanisme Biodegradasi PHC

Bakteri menggunakan PHC sebagai sumber karbon dan energi (Atlas 1981; Udiharto 1996a dalam Herdiyanto 2005). Proses biodegradasi PHC akan menghasilkan CO₂, H₂O dan biomassa sel (Bossert & Bartha 1984 dalam Herdiyanto 2005). Menurut Udiharto *et al.* (1995) dalam Herdiyanto (2005) selama aktivitas berlangsung bakteri mengeluarkan metabolit-metabolit ke dalam media berupa asam, surfaktan dan gas yang dapat mempengaruhi lingkungannya diantaranya asam menurunkan pH dan surfaktan menurunkan tegangan antar muka media. Penurunan tegangan antar muka media menyebabkan *crude oil* dispersi dan memperbesar kontak permukaan antara bakteri dan *crude oil* sehingga akan terjadi peningkatan biodegradasi PHC yang terdapat pada *crude oil*. Selain itu, biomassa yang dihasilkan

merupakan akumulasi massa sel yang sebagian besar tersusun oleh protein. Protein dapat meningkatkan kesuburan tanah tercemar karena merupakan sumber pupuk nitrogen bagi lahan yang mendapatkannya. Sebelum biodegradasi berlangsung, PHC masuk ke dalam sitoplasma bakteri. Ada dua teori mekanisme masuknya hidrokarbon ke dalam sitoplasma. Pertama, hidrokarbon menjadi mudah larut dan yang kedua terjadi adhesi antara butiran hidrokarbon dengan cairan dalam sel (Higgins & Gillbert 1977 dalam Herdiyanto 2005). Proses selanjutnya, bakteri memproduksi enzim yang dapat mendegradasi PHC. Enzim mendegradasi senyawa tersebut dengan cara mengeksploitasi kebutuhan bakteri akan energi (Wisjnuprapto 1996 dalam Herdiyanto 2005). Menurut Kadarwati *et al.* (1994) dalam Herdiyanto (2005) dalam pertumbuhannya bakteri akan mengeluarkan enzim yang akan bergabung dengan substansi membentuk senyawa kompleks enzim-substansi, kemudian terurai menjadi produk lain. Enzim tidak habis dalam reaksi tersebut tetapi dilepaskan kembali untuk reaksi selanjutnya dengan substansi lainnya. Proses ini terjadi berulang-ulang sampai semua substansi yang tersedia terpakai. Bentuk-bentuk penggunaan PHC atau hidrokarbon yang ada pada *crude oil* oleh bakteri disajikan dalam Gambar 2.7



penggunaan hidrokarbon terlarut, (B) kontak langsung bakteri dengan hidrokarbon pada antar muka air-minyak, (C) kontak langsung bakteri dengan butiran-butiran hidrokarbon yang terdispersi dalam larutan dan (D) peningkatan kelarutan hidrokarbon karena dihasilkan biosurfaktan (Sumber : Miller 1995).

Tingkat kemudahan PHC didegradasi oleh bakteri tergantung kepada struktur dan bobot molekulnya (Atlas 1989 dalam Herdiyanto 2005). Secara umum kemampuan biodegradasi naik dengan kenaikan panjang rantai (Kadarwati *et al.* 1996 dalam Herdiyanto 2005). Selama proses biodegradasi terjadi perombakan fraksi parafinik, naftenik dan aromatik. Parafinik merupakan fraksi yang paling mudah didegradasi sedangkan naftenik dan aromatik lebih sulit (Leahly & Colwell 1990 dalam Herdiyanto 2005). Menurut Udiharto (1996a) dalam Herdiyanto (2005) kemampuan bakteri mendegradasi hidrokarbon PHC berbeda-beda. Panjang rantai optimum untuk didegradasi antara 10-20 rantai karbon. PHC dengan panjang rantai kurang dari 9 sulit didegradasi karena senyawa ini bersifat toksik tetapi beberapa bakteri tertentu (methanotrop) dapat mendegradasinya. Beberapa hasil percobaan menunjukkan bahwa: (i) hidrokarbon alifatik umumnya mudah didegradasi daripada aromatik, (ii) hidrokarbon alifatik rantai lurus umumnya lebih mudah terdegradasi daripada rantai cabang. Introduksi cabang ke molekul hidrokarbon menghambat proses biodegradasi, (iii) hidrokarbon jenuh lebih mudah terdegradasi daripada yang tidak jenuh. Adanya ikatan dubel atau tripel antar karbon menghambat proses biodegradasi dan (iv) hidrokarbon alifatik rantai panjang lebih mudah didegradasi daripada rantai pendek.

2.11 Faktor Lingkungan yang Mempengaruhi Biodegradasi PHC

Biodegradasi PHC merupakan proses yang kompleks dan tergantung kepada karakteristik minyak, komunitas mikroorganisme dan kondisi lingkungan (Rahayu & Noegroho 1999). Faktor-faktor lingkungan yang mempengaruhi biodegradasi PHC yaitu: kadar air, suhu, oksigen, pH dan nutrisi yang tersedia (Atlas 1981; Cooney 1984; Skladany & Metting 1993; Kadarwati *et al.* 1994; Udiharto 1996a; Wisjnupto 1996 dalam Herdiyanto 2005).

a. Kadar Air

Kadar air sangat penting untuk proses metabolik bakteri pada limbah *crude oil* karena bakteri hidup aktif pada antar muka minyak-air (Atlas 1981; Udiharto 1996a dalam Herdiyanto 2005). Menurut Dibble dan Bartha (1979) dalam Herdiyanto (2005) kelembaban optimum untuk biodegradasi PHC di lingkungan tanah adalah 30-90% kapasitas penyangga air. Kelembaban yang terlalu rendah menyebabkan tanah menjadi kering sedangkan terlalu tinggi akan mengurangi penyediaan oksigen.

b. Suhu

Suhu lingkungan mempengaruhi kemampuan bakteri dalam mendegradasi PHC (Atlas 1975). Skladany dan Metting (1993) dalam Herdiyanto 2005 menyatakan bahwa suhu mempengaruhi reaksi-reaksi biokimia. Menurut Atlas (1981) dalam Herdiyanto 2005 biodegradasi PHC berlangsung pada kisaran suhu yang luas tetapi tidak selalu menjadi faktor utama yang membatasi biodegradasi jika faktor lingkungan lain baik. Menurut Udiharto (1996a) dalam Herdiyanto 2005 berdasarkan suhu lingkungannya bakteri dapat digolongkan menjadi 3 kelompok, yaitu: (i) psikrofilik memerlukan suhu optimum antara 5-15 °C, (ii) mesofilik memerlukan suhu optimum antara 25- 40 °C dan (iii) termofilik memerlukan suhu optimum antara 45-60 °C. Proses bioremediasi umumnya menggunakan bakteri mesofilik sedangkan kelompok lain dapat digunakan pada kondisi khusus seperti *Corynebacterium* yang diisolasi dari tanah di antartika yang terkontaminasi PHC dapat aktif mendegradasi pada suhu 1 °C. *Bacillus stearothermophilus* dapat tumbuh dan berkembang biak dalam medium termofil (55 °C) dengan PHC sebagai sumber karbonnya (Udiharto 1993 dalam Herdiyanto 2005). Suhu optimum untuk mendapatkan laju biodegradasi yang tinggi antara 30-40 °C (Huddleston & Cresswell 1976). Zo Bell (1969) dalam Herdiyanto (2005) mengemukakan bahwa laju biodegradasi lebih tinggi terjadi pada suhu 25 °C daripada 5 °C. Hasil penelitian Atlas (1975) dalam Herdiyanto (2005)

menunjukkan bahwa senyawa parafin bercabang seperti pristan dapat didegradasi oleh bakteri pada suhu 10 °C dan 20 °C.

c. Oksigen

Biodegradasi PHC membutuhkan oksigen sebagai akseptor electron karena dasar proses biodegradasi adalah oksidasi (Cooney 1984 dalam Herdiyanto 2005). Kekurangan oksigen menyebabkan biodegradasi menurun tajam. Idealnya 1 g oksigen digunakan untuk mendegradasi 3.5 g *crude oil* (Zo Bell 1969; Floodgate 1979 dalam Herdiyanto 2005). Oksigen dapat disuplai melalui pengadukan tanah secara berkala atau dialirkan melalui pipa-pipa (Bewley 1996 dalam Herdiyanto 2005). Selain itu, Atlas (1981) dalam Herdiyanto (2005) menyatakan bahwa bioturbasi tanah oleh cacing dapat meningkatkan laju biodegradasi melalui penambahan ruang pori udara.

d. pH Tanah

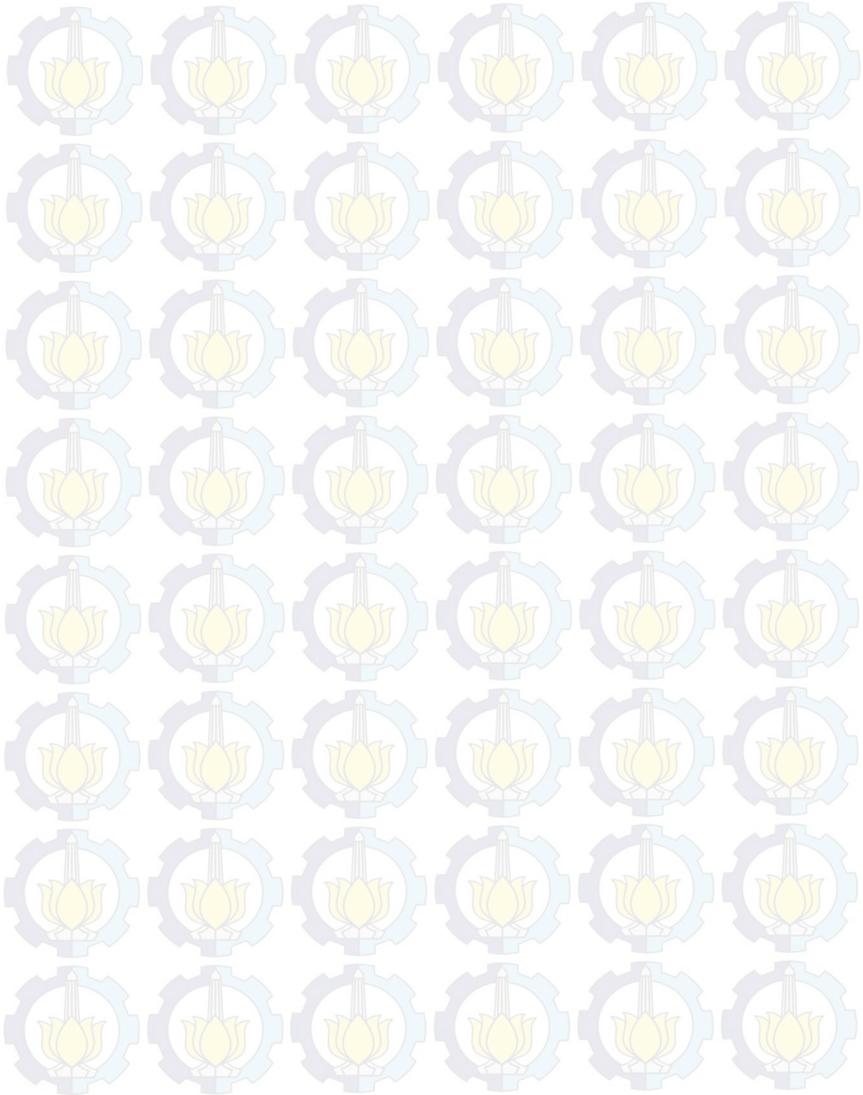
pH tanah mempengaruhi laju biodegradasi baik secara langsung atau tidak langsung. Bakteri umumnya tumbuh dengan baik pada pH 6.0-8.0 (Udiharto 1996a dalam Herdiyanto 2005). Secara tidak langsung mempengaruhi naik atau turunnya ketersediaan nutrisi khususnya fosfor (Bewley 1996 dalam Herdiyanto 2005). Menurut Dibble dan Bartha (1979) dalam Herdiyanto 2005 pH optimum untuk biodegradasi PHC oleh bakteri adalah 7.5-7.8 sedangkan fungi umumnya lebih toleran terhadap kondisi asam. Verstraete *et al.* (1976) dalam Herdiyanto 2005 melaporkan bahwa peningkatan pH dari 4.5 menjadi 7.4 pada tanah podsolik masam dapat meningkatkan biodegradasi senyawa alkana dan aromatik.

e. Ketersediaan Nutrisi

Crude oil sebagian besar terdiri atas campuran karbon dan hidrogen. Tumpahan *crude oil* menyebabkan terjadinya ketidakseimbangan rasio C:N pada area tumpahan. Menurut Koren *et al.* (2003) dalam Herdiyanto (2005) biodegradasi PHC

yang ada pada *crude oil* umumnya dibatasi oleh ketersediaan nitrogen. Jobson *et al.* (1974) dalam Herdiyanto (2005) menyatakan agar pertumbuhan bakteri tidak terhambat diperlukan sekitar 10 bagian karbon untuk setiap satu bagian nitrogen. Jika rasio C:N besar, misalnya 100:1 atau 1000:1, maka pertumbuhan bakteri dan pemanfaatan karbon akan terhambat. Adanya defisiensi nitrogen di areal tumpahan *crude oil* akan diikuti oleh defisiensi fosfor yang juga merupakan faktor pembatas laju degradasi. Untuk memperbaiki ketidakseimbangan nutrisi yang disebabkan oleh jumlah karbon yang melimpah maka penambahan pupuk yang mengandung nitrogen dan fosfor perlu dilakukan. Menurut Bragg *et al.* (1993) dalam Herdiyanto (2005) nitrogen merupakan unsur pokok protein dan asam nukleat yang berperan dalam pertumbuhan, perbanyakan dan pembentukan dinding sel. Fosfor merupakan komponen utama asam nukleat dan lemak sel membran yang berperan dalam proses pemindahan energi secara biologi. Dibble dan Bartha (1979) dalam Herdiyanto (2005) melaporkan C:N rasio 60:1 dan C:P rasio 800:1 merupakan rasio optimal kebutuhan bakteri dalam mendegradasi PHC. API (1980) dalam Herdiyanto (2005) merekomendasikan jumlah pupuk N dan P yang digunakan sebesar 500 kg N dan 50 kg P per 100 ton *crude oil* dengan mempertimbangkan biaya dan keamanan lingkungan dari pengaruh penggunaan dosis pupuk tinggi yang dapat mencemari air tanah. Jobson *et al.* (1974) dalam Herdiyanto (2005) melaporkan penambahan 600 kg N per ha tidak hanya meningkatkan jumlah kultur campuran *Flavobacterium* dan *Cytophaga* sp. tetapi juga meningkatkan laju biodegradasi minyak.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”



BAB III METODOLOGI

3.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilakukan selama 6 bulan, dimulai pada bulan Juli 2011 sampai Januari 2012. Dengan waktu persiapan 3 bulan dan waktu penelitian selama 3 bulan. Penelitian dilaksanakan di Laboratorium Flora, Laboratorium Analitik dan Laboratorium Mikrobiologi, Balai Teknologi Lingkungan - Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi (BTL-BPPT), Pusat Penelitian Ilmu Pengetahuan dan Teknologi (PUSPIPTEK), Serpong-Tangerang Selatan, Banten.

3.2 Persiapan Alat dan Bahan

3.2.1 Alat

Alat yang digunakan adalah *polybag*, ember, termometer, soil tester, pipet volumetrik dan pipet gondok, termometer, *shaker*, erlenmeyer, tabung reaksi, cawan petri, aerator, neraca analitik, saringan, soxhlet, inkubator, oven, tabung reaksi,.

3.2.2 Bahan

Bahan yang digunakan adalah tanah latosol, pasir, minyak mentah (*crude oil*), bakteri konsorsium, tanaman Vetiver (*Chrysopogon zizanioides*), pepton, agar-agar, *meat extract*, NaCl, aquades, n-hexana, aseton dan aquadest. *Crude oil* didapatkan dari hasil eksplorasi dan produksi petroleum di Bojonegoro, Jawa Timur.

3.3 Prosedur Kerja

3.3.1 Persiapan Bioreaktor dan Perlakuan

Penyiapan Media

Bioreaktor yang digunakan dalam penelitian ini adalah berupa 24 unit reaktor. Reaktor dibuat dari *polybag* ukuran 3 kg yang tidak dilubangi. Media tanam berkomposisi pasir:tanah (3:2) dicampur dengan *crude oil* dengan persentasi sesuai dengan

perlakuan (lihat Tabel 3.1) dan ditambah air dengan massa 40% dari massa media. Setelah itu, media tanam dimasukkan ke dalam bioreaktor. Duabelas unit bioreaktor tidak ditanami Vetiver (untuk perlakuan 1) dan 12 bioreaktor yang lain ditanami Vetiver (untuk perlakuan 2).

Penyiapan Tanaman

C. zizanioides dipotong dengan ukuran yang sama (daun dengan panjang 20 cm dan akar dengan panjang 10 cm), kemudian disimpan di air selama 2 hari untuk meningkatkan kemampuan pertumbuhan akar. Setiap bioreaktor ditanami 1 tanaman yang memiliki 2 helai daun (Brandt, 2003). Tanaman ditumbuhkan pada rumah kaca terbuka.

Penyiapan dan Perbanyakkan Bakteri

Isolat bakteri yang disediakan di BTL diperbanyak dengan menggunakan sistem aerasi hingga didapatkan kepadatan populasi bakteri yang diinginkan. Kemudian bakteri diencerkan dengan air dan ditambahkan ke masing-masing bioreaktor sebanyak 100 ml. Dalam sistem composting jumlah ideal mikroba yang dibutuhkan sebanyak 10^4 - 10^7 atau minimum 10^3 CFU/gr tanah (Sulistiyowati, 2001). Populasi bakteri yang dipakai dalam penelitian adalah 10^6 CFU/ml media.

Pengairan dan Pemupukan

Seluruh bioreaktor disirami air sebanyak 100 ml. Pemupukan dengan pupuk anorganik Hyponex pada 2 minggu setelah penanaman tanaman. Pemupukan dilakukan bersamaan dengan pengairan (Brandt, 2003). Dosis yang digunakan adalah sebesar 1 gram per 1 liter air.

3.3.2 Pengukuran Parameter Pertumbuhan

Tinggi Tanaman

Perhitungan tinggi tanaman dilakukan pada bulan ke-3. Tinggi tanaman diukur menggunakan mistar dari pangkal daun hingga ujung daun terpanjang.

Jumlah Anakan Tanaman

Perhitungan jumlah anakan dilakukan pada bulan ke-3. Jumlah Anakan yang dihitung hanya anakan yang hidup saja.

Panjang Akar Tanaman

Perhitungan panjang akar dilakukan pada bulan ke-3. Panjang akar dihitung dari pangkal akar sampai ujung akar terpanjang.

Biomassa Tanaman

Biomassa tanaman dihitung pada bulan ke-3. Daun dan akar yang telah diambil, ditimbang untuk mengetahui berat basahya. Kemudian, daun dan akar dikeringkan dalam oven pada suhu 60°C sekitar 3 hari, dan ditimbang setelah dikeluarkan dari oven (Brandt, 2003), kemudian dihitung biomassa keringnya.

3.3.3 Penghitungan Nilai TPC Bakteri

Pengambilan Sampel Tanah

Sampel tanah sebanyak 5 gram untuk pengujian TPC diambil pada bulan ke-0 dan bulan ke-3. Kemudian sampel tanah disimpan dalam kulkas pada suhu 4°C sampai penanganan selanjutnya (Brandt, 2003).

Uji TPC Bakteri

Sampel tanah yang telah disimpan, ditimbang sebanyak 1 gram. Selanjutnya diencerkan secara desimal (10^{-1} sampai 10^{-10} dengan menggunakan tabung reaksi masing-masing diisi 9 ml larutan Nutrient Broth steril). Diambil 1 ml larutan dari pengenceran, dipipet ke dalam cawan petri steril (duplo). Medium *plate count agar* yang telah didinginkan sampai kira-kira 44° C sebanyak 10 ml dituangkan ke dalam cawan petri dan dihomogenkan. Diinkubasi pada suhu kamar selama 24 jam. Cawan yang digunakan adalah cawan yang mengandung 30 – 300 koloni. Kemudian diukur jumlah populasi bakteri total. Dalam sistem komposting jumlah ideal mikroba yang dibutuhkan

sebanyak 10^4 - 10^7 atau minimum 10^3 CFU/gr tanah (Sulistyowati, 2001).

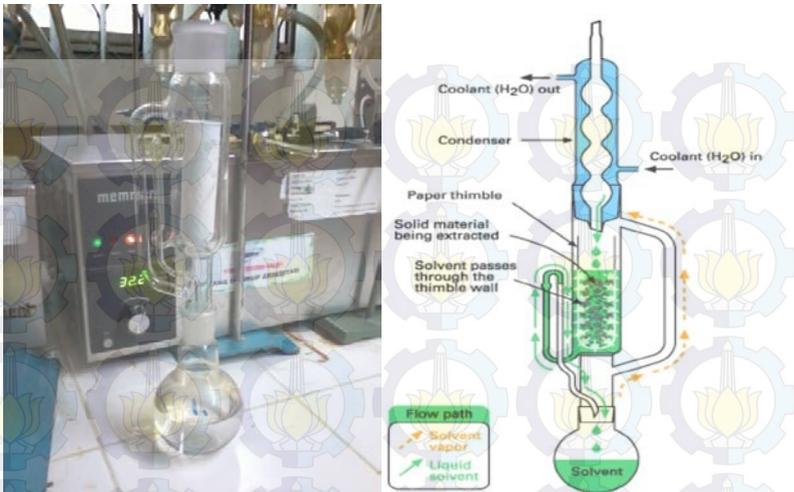
3.3.4 Analisis Hidrokarbon Petroleum Total (*Total Petroleum Hydrocarbon/TPH*)

Pengambilan Sampel Tanah

Sampel tanah sebanyak 15 gram diambil pada bulan ke-0 dan pada bulan ke-3 untuk pengujian kadar TPH. Kemudian sampel tanah disimpan dalam kulkas pada suhu 4°C sampai penanganan selanjutnya (Brandt, 2003).

Analisis TPH

Sebelum dilakukan analisis TPH dihitung kadar air dan berat kering sampel yaitu dengan cara sampel tanah ditimbang seberat ± 5 gram, dan dioven selama 4 jam dengan suhu 100°C . Sampel tanah kering ditimbang ulang dan dihitung kadar airnya. Untuk penghitungan kadar TPH sampel tanah di preparasi dan diukur dengan menggunakan *soxhlet*. Sampel tanah ditimbang seberat ± 5 gram dan ditambahkan Natrium sulfat, kemudian dimasukkan ke dalam *cellulose thimble* dan ditutupi dengan *glass wool* secukupnya. Heksana sebanyak 75 ml dan aseton sebanyak 75 ml dimasukkan ke dalam *still pot/flask* dan dirangkai menjadi *soxhlet apparatus* sesuai skema :



Gambar 3.1. Skema rangkaian *soxhlet apparatus* (Sumber : dokumentasi pribadi)

Soxhlet apparatus dinyalakan selama 4 jam. *Crude oil* yang telah terekstraksi dialirkan seluruhnya ke *still pot*. Berat kosong *still pot* ditimbang. Pelarut yang ada dalam *still pot* diuapkan dengan *rotary evaporator* selama 5 menit dengan suhu 80°C sampai pelarut menguap dan tertinggal *crude oil* saja. *Still pot* ditimbang kembali setelah suhu stabil. Kemudian dihitung kadar TPH. Tingkat degradasi menunjukkan penurunan nilai TPH tiap hari dari hasil fitoremediasi. Rumus tingkat degradasi (penurunan kadar minyak) adalah:

$$PM = \frac{A - B}{A} \times 100\%$$

Keterangan:

PM = penurunan kadar minyak (%)

A = kadar minyak awal (mg/kg)

B = kadar minyak setelah fitoremediasi (mg/kg)

(Bagariang, 2008)

3.4 Rancangan Penelitian

Pada penelitian ini dilakukan 3 macam pengamatan yaitu pengamatan pertumbuhan tanaman, penghitungan nilai TPC bakteri dan analisis hidrokarbon petroleum total (*Total Petroleum Hydrocarbon/TPH*). Rancangan penelitian yang digunakan adalah Rancangan Acak Lengkap (RAL) berpola faktorial yang terdiri dari 2 faktor. Faktor 1: Konsentrasi *crude oil* yang terdiri dari 4 taraf: M₀:0%, M₁:1%, M₃:3%, dan M₁₀:10%. Faktor 2: Penggunaan Vetiver (*Chrysopogon zizanioides*) yang terdiri dari 2 taraf: V₀: tanpa menggunakan Vetiver (*Chrysopogon zizanioides*) dan V₁: menggunakan Vetiver (*Chrysopogon zizanioides*), diperoleh 8 kombinasi perlakuan, masing-masing diulang 3 kali. Rancangan percobaan 2 faktor dapat dilihat pada Table 3.1.

Tabel 3.1. Rancangan percobaan dua: konsentrasi *crude oil* dan penggunaan *Chrysopogon zizanioides*

Perbandingan konsentrasi <i>crude oil</i> (M)	Penggunaan <i>Vetiveria zizanioides</i>	
	Tanpa Penggunaan vetiver (<i>Chrysopogon zizanioides</i>) (V ₀)	Penggunaan vetiver (<i>Chrysopogon zizanioides</i>) (V ₁)
M ₀	M ₀ V ₀	M ₀ V ₁
M ₁	M ₁ V ₀	M ₁ V ₁
M ₃	M ₃ V ₀	M ₃ V ₁
M ₁₀	M ₁₀ V ₀	M ₁₀ V ₁

Dua faktor dalam penelitian ini adalah:

1. Faktor perbandingan konsentrasi *crude oil* terdiri dari 4 taraf
 - M₀ = tanpa penambahan *crude oil* 0%
 - M₁ = dengan penambahan *crude oil* 1%
 - M₃ = dengan penambahan *crude oil* 3%
 - M₁₀ = dengan penambahan *crude oil* 10%

2. Faktor penggunaan Vetiver

V_0 = tanpa menggunakan Vetiver (*Chrysopogon zizanioides*)

V_1 = menggunakan Vetiver (*Chrysopogon zizanioides*)

3.5 Analisa Data

Data dianalisis dengan *Analysis of Variance* (ANOVA) untuk mengetahui pengaruh perlakuan terhadap masing-masing parameter yang diamati dengan hipotesis statistik:

Hipotesis 1

H0 : Tinggi tanaman pada masing-masing konsentrasi *crude oil* bernilai sama

H1 : Tinggi tanaman pada masing-masing konsentrasi *crude oil* bernilai berbeda

Hipotesis 2

H0 : Jumlah anakan tanaman pada masing-masing konsentrasi *crude oil* bernilai sama

H1 : Jumlah anakan tanaman pada masing-masing konsentrasi *crude oil* bernilai berbeda

Hipotesis 3

H0 : Panjang akar tanaman pada masing-masing konsentrasi *crude oil* bernilai sama

H1 : Panjang akar tanaman pada masing-masing konsentrasi *crude oil* bernilai berbeda

Hipotesis 4

H0 : Biomassa akar tanaman pada masing-masing konsentrasi *crude oil* bernilai sama

H1 : Biomassa akar tanaman pada masing-masing konsentrasi *crude oil* bernilai berbeda

Hipotesis 5

H0 : Biomassa tajuk tanaman pada masing-masing konsentrasi *crude oil* bernilai sama

H1 : Biomassa tajuk tanaman pada masing-masing konsentrasi *crude oil* bernilai berbeda

Hipotesis 6

H0 : Biomassa total tanaman pada masing-masing konsentrasi *crude oil* bernilai sama

H1 : Biomassa total tanaman pada masing-masing konsentrasi *crude oil* bernilai berbeda

Hipotesis 7

H0 : Nilai TPC bakteri Rhizosfer pada pada masing-masing konsentrasi *crude oil* bernilai sama

H1 : Nilai TPC bakteri Rhizosfer pada pada masing-masing konsentrasi *crude oil* bernilai berbeda

Hipotesis 8

H0 : Nilai TPC bakteri *bulk soil* pada media tanpa menggunakan Vetiver (*Chrysopogon zizanioides*) dan menggunakan Vetiver (*Chrysopogon zizanioides*) bernilai sama

H1 : Nilai TPC bakteri *bulk soil* pada media tanpa menggunakan Vetiver (*Chrysopogon zizanioides*) dan menggunakan Vetiver (*Chrysopogon zizanioides*) bernilai berbeda

Hipotesis 9

H0 : Nilai TPH pada media tanpa menggunakan Vetiver (*Chrysopogon zizanioides*) dan menggunakan Vetiver (*Chrysopogon zizanioides*) bernilai sama

H1 : Nilai TPH pada media tanpa menggunakan Vetiver (*Chrysopogon zizanioides*) dan menggunakan Vetiver (*Chrysopogon zizanioides*) bernilai berbeda

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian mengenai pengaruh penggunaan tanaman Vetiver (*Chrysopogon zizanioides*) sebagai fitremediator dilakukan selama 6 bulan di Balai Teknologi Lingkungan yang berlokasi di Serpong-Tangerang. Penelitian dilakukan pada skala laboratorium dengan menggunakan *polybag*. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh penggunaan tanaman Vetiver (*Chrysopogon zizanioides*) pada proses bioremediasi tanah terkontaminasi PHC. Tahapan-tahapan penelitian terdiri dari penyiapan bioreaktor dan media, penyiapan tanaman, perbanyakan dan penambahan bakteri, pengamatan pertumbuhan tanaman (tinggi tanaman, panjang akar, biomassa tanaman dan penghitungan jumlah anakan tanaman), pengukuran TPC bakteri serta pengukuran kadar TPH dan tingkat degradasi minyak.

4.1 Pengaruh *Crude oil* terhadap Pertumbuhan *Chrysopogon zizanioides*

4.1.1 Pengaruh *Crude oil* terhadap Tinggi Tanaman/ Panjang Tajuk

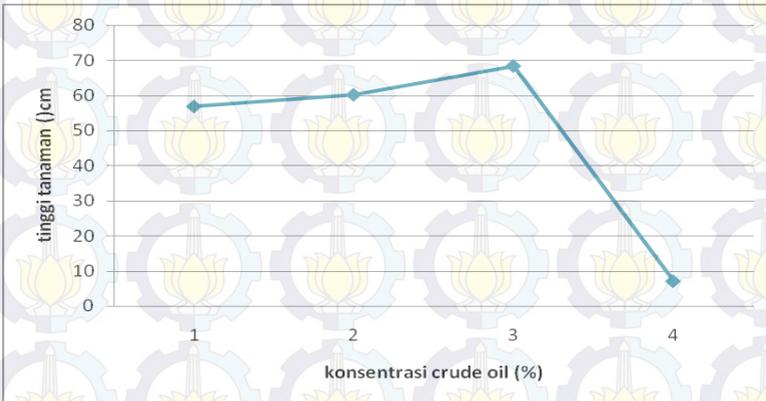
Perbedaan konsentrasi *crude oil* yang ditambahkan dalam penelitian berpengaruh nyata terhadap tinggi tanaman/ panjang tajuk. Hasil uji lanjut Duncan 5% pengaruh konsentrasi *crude oil* terhadap tinggi tanaman/ panjang tajuk pada setiap perlakuan disajikan pada Tabel. 4.1.

Tabel 4.1 Tinggi Tanaman / Panjang Tajuk pada berbagai perlakuan konsentrasi *crude oil*

Penggunaan <i>C.</i> <i>zizanioides</i> (V1)	Konsentrasi <i>crude oil</i> 0% (M0)	Konsentrasi <i>crude oil</i> 1% (M1)	Konsentrasi <i>crude oil</i> 3% (M3)	Konsentrasi <i>crude oil</i> 10% (M10)
Panjang Tajuk <i>C.</i> <i>zizanioides</i> (cm)	58 ^b	64,5 ^b	70,67 ^b	14,3 ^a

Keterangan : Huruf yang berbeda menunjukkan pengaruh berbeda nyata dalam uji lanjut Duncan pada selang kepercayaan 95 %.

Tinggi tanaman *Chrysopogon zizanioides* pada masing-masing konsentrasi *crude oil* pada pengamatan bulan ke-3 disajikan pada Gambar. 4.1.



Gambar 4.1. Grafik tinggi tanaman/ panjang tajuk *C. zizanioides* pada masing-masing konsentrasi *crude oil*

Pada pengamatan bulan ke-3 diketahui bahwa rata-rata tinggi tanaman tertinggi terdapat pada perlakuan M3V1 (pada konsentrasi *crude oil* 3%). Fitoremediasi dapat berlangsung optimum pada konsentrasi *crude oil* 3%. Sedangkan pada

perlakuan M10V1 (pada konsentrasi *crude oil* 10%) Vetiver yang hidup hanya pada ulangan 2, sedangkan yang lainnya mati. Hal ini diduga karena konsentrasi *crude oil* (10%) terlalu tinggi, sehingga toleransi vetiver rendah dan mengakibatkan proses metabolisme vetiver terganggu hingga menyebabkan kematian. Tinggi tanaman dapat dilihat pada Gambar 4.2.



Gambar 4.2. Tinggi tanaman/ panjang tajuk *C. zizanioides* pada tiap perlakuan konsentrasi *crude oil* : (A) M0V1 = Penambahan *crude oil* 0% dengan penambahan *C. zizanioides*; (B) M1V1 = Penambahan *crude oil* 1% dengan penambahan *C. zizanioides*; (C) M3V1 = Penambahan *crude oil* 3% dengan penambahan *C. zizanioides*; (D) M10V1 = Penambahan *crude oil* 10% dengan penambahan *C. zizanioides*.

4.1.2 Pengaruh *Crude oil* terhadap Jumlah Anakan

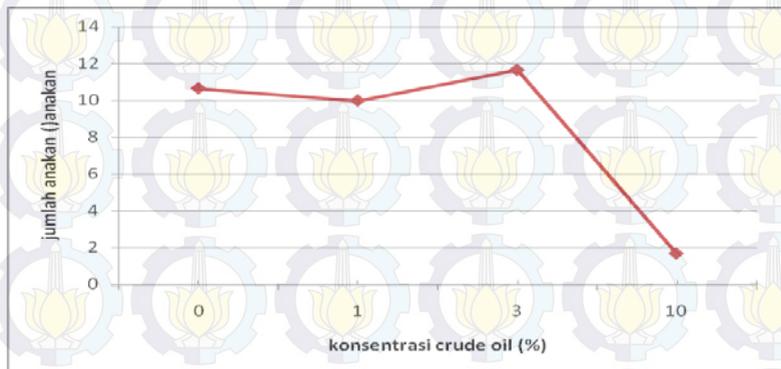
Pada bulan ke-0 *Chrysopogon zizanioides* diseragamkan tanpa anakan. Anakan yang dihitung dalam pengamatan hanya jumlah anakan yang hidup sedangkan anakan yang mati tidak dihitung. Perbedaan konsentrasi *crude oil* yang ditambahkan dalam penelitian berpengaruh nyata terhadap jumlah anakan. Hasil uji lanjut Duncan 5% pengaruh konsentrasi *crude oil* terhadap jumlah anakan pada setiap perlakuan disajikan pada Tabel. 4.2.

Tabel 4.2 Jumlah anakan pada berbagai perlakuan konsentrasi *crude oil*

Penggunaan <i>C. zizanioides</i>	Konsentrasi <i>crude oil</i> 0% (M0)	Konsentrasi <i>crude oil</i> 1% (M1)	Konsentrasi <i>crude oil</i> 3% (M3)	Konsentrasi <i>crude oil</i> 10% (M10)
Jumlah anakan <i>C. zizanioides</i> (anakan)	11 ^b	10 ^b	12 ^b	2 ^a

Keterangan : Huruf yang berbeda menunjukkan pengaruh berbeda nyata dalam uji lanjut Duncan pada selang kepercayaan 95 %.

Untuk lebih detail grafik jumlah anakan tanaman *Chrysopogon zizanioides* pada masing-masing konsentrasi *crude oil* pada pengamatan bulan ke-3 disajikan pada Gambar 4.3.



Gambar 4.3. Grafik jumlah anakan *C. zizanioides* pada masing-masing konsentrasi *crude oil*

Pada bulan ke-3 jumlah anakan terbanyak terdapat pada konsentrasi *crude oil* 3% (M3). Hal ini diduga karena *crude oil* mulai terdegradasi dan hasil degradasi dapat dimanfaatkan secara optimum oleh tanaman. Pada M3 (konsentrasi *crude oil* 3%) ketersediaan karbon tinggi sehingga pertumbuhan tanaman juga optimal. Tetapi pada konsentrasi *crude oil* 10% jumlah anakan

sanagt sedikit karena dari 3 ulangan hanya pada ulangan 2 tanaman yang hidup. Menurut Bossert & Bartha (1984) dalam Herdiyanto (2005), konsentrasi *crude oil* dalam jumlah sedang (1-5%) di atas permukaan tanah umumnya kurang merusak terhadap tumbuhan. Konsentrasi yang rendah (< 1%) kadang-kadang meningkatkan perkembangan tumbuhan. Hal ini mungkin disebabkan adanya bagian dari komponen hidrokarbon *crude oil* yang berfungsi sebagai hormon tumbuh bagi tumbuhan.

4.1.3 Pengaruh Cekaman *Crude oil* terhadap Panjang Akar

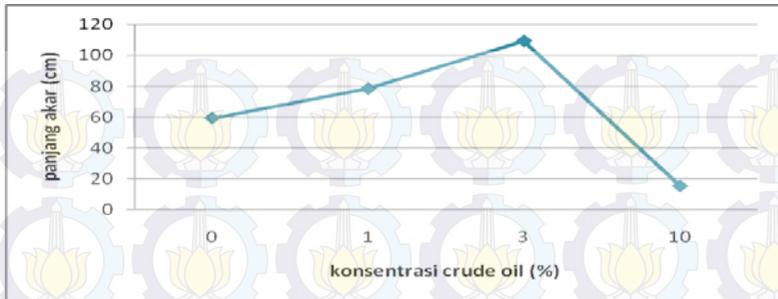
C. zizanioides menumbuhkan akar terpanjang pada penambahan *crude oil* 3% . Cekaman *crude oil* memberikan pengaruh nyata terhadap panjang akar *C. zizanioides*. Perbedaan konsentrasi *crude oil* yang ditambahkan dalam penelitian berpengaruh nyata terhadap panjang akar. Hasil uji lanjut Duncan 5% pengaruh konsentrasi *crude oil* terhadap panjang akar pada setiap perlakuan disajikan pada Tabel. 4.3.

Tabel 4.3 Panjang Akar pada berbagai perlakuan konsentrasi *crude oil*

Penggunaan <i>C.</i> <i>zizanioides</i>	Konsentrasi <i>crude oil</i> 0% (M0)	Konsentrasi <i>crude oil</i> 1% (M1)	Konsentrasi <i>crude oil</i> 3% (M3)	Konsentrasi <i>crude oil</i> 10% (M10)
Panjang Akar <i>C. zizanioides</i> (cm)	59,33 ^b	78,33 ^{bc}	109,33 ^c	15,33 ^a

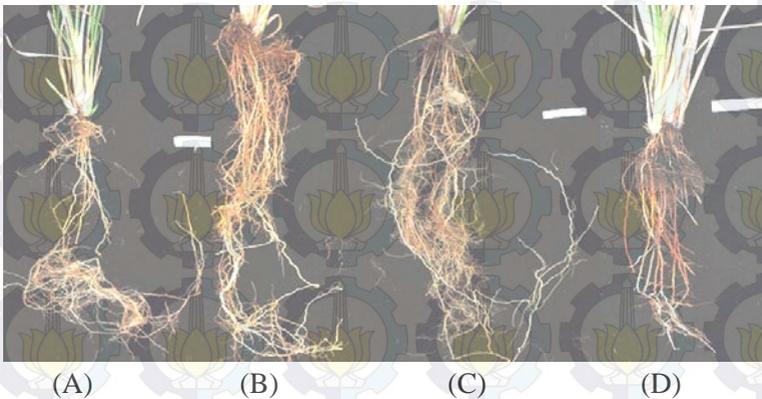
Keterangan : Huruf yang berbeda menunjukkan pengaruh berbeda nyata dalam uji lanjut Duncan pada selang kepercayaan 95 %.

Dan untuk lebih detailnya panjang akar tanaman disajikan dalam Gambar 4.4.



Gambar 4.4. Grafik panjang akar *Chrysopogon zizanioides* pada berbagai konsentrasi *crude oil*

Pada bulan ke-3 nilai panjang akar tertinggi terdapat pada konsentrasi *crude oil* 3% (M3). Akar semakin panjang diduga karena adaptasi tanaman untuk memanfaatkan sumber energy yang terdapat di dasar polybag. Panjang akar setelah 3 bulan penanaman pada tanah terkontaminasi PHC dapat dilihat pada Gambar 4.5.



Gambar 4.5. Grafik panjang akar *Chrysopogon zizanioides* pada berbagai konsentrasi *crude oil* : (A) M0V1 = Penambahan *crude oil* 0% dengan penambahan *C. zizanioides*; (B) M1V1 = Penambahan *crude oil* 1% dengan penambahan *C. zizanioides*; (C) M3V1 = Penambahan *crude oil* 3% dengan penambahan *C. zizanioides*; (D) M10V1 = Penambahan *crude oil* 10% dengan penambahan *C. zizanioides*.

Akar merupakan komponen penting untuk adaptasi tanaman pada tanah yang terkontaminasi PHC dan penting untuk fitoremediasi. Studi awal pada morfologi akar di bawah tanah yang terkontaminasi PHC menunjukkan pertumbuhan akar pada spesies yang sensitif secara drastis menjadi rusak. Sebaliknya, spesies yang toleran PHC memiliki morfologi akar yang termodifikasi dengan ciri akar yang lebih kasar, pendek, dan tebal. Karakteristik ini berhubungan dengan degradasi PHC yang lebih tinggi (Merkl *et al.*, 2005) dan peningkatan penyerapan air serta nutrisi untuk mendukung pertumbuhan tanaman di bawah kontaminasi tanah. Efek negatif PHC pada respon fisiologi tanaman dan morfologi akar bervariasi berdasarkan spesies tanaman, tipe dan sifat tanah, komposisi mikroba, dan tipe, komposisi, dan konsentrasi petroleum (Siciliano *et al.*, 2001).

4.1.4 Pengaruh *Crude oil* terhadap Biomassa *Chrysopogon zizanioides*

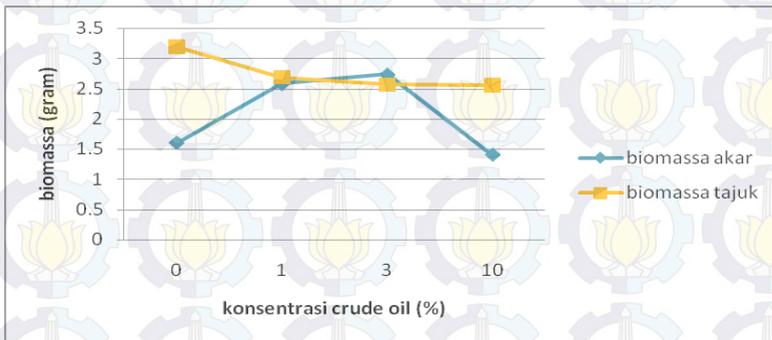
Penambahan masing-masing *crude oil* dalam media tanam menggunakan *C. zizanioides* menyebabkan pengaruh perbedaan biomassa akar secara nyata pada bulan ke-3 setelah penanaman tetapi tidak berpengaruh nyata terhadap biomassa tajuk. Hasil uji lanjut Duncan 5% pengaruh konsentrasi *crude oil* terhadap biomassa akar dan biomassa tajuk pada setiap perlakuan disajikan pada Tabel. 4.4.

Tabel 4.4 Biomassa akar dan tajuk pada berbagai perlakuan konsentrasi *crude oil*

Penggunaan <i>C.</i> <i>zizanioides</i>	Konsentrasi <i>crude oil</i> 0% (M0)	Konsentrasi <i>crude oil</i> 1% (M1)	Konsentrasi <i>crude oil</i> 3% (M3)	Konsentra si <i>crude oil</i> 10% (M10)
Biomassa Akar <i>C.</i> <i>zizanioides</i> (gr)	1,6 ^a	2,6 ^b	2,7 ^b	1,4 ^a
Biomassa tajuk <i>C.</i> <i>zizanioides</i> (gr)	3,2 ^a	2,7 ^b	2,6 ^b	2,5 ^b

Keterangan : Huruf yang berbeda menunjukkan pengaruh berbeda nyata dalam uji lanjut Duncan pada selang kepercayaan 95 %.

C. zizanioides yang dipapar pada tanah yang dicemari dengan *crude oil* memiliki proporsi biomassa akar lebih banyak daripada tajuk. Untuk lebih detailnya dapat dilihat pada Grafik 4.6.



Gambar 4.6. Grafik biomassa akar dan tajuk *C. zizanioides* pada berbagai perlakuan konsentrasi *crude oil*

Rasio biomassa akar dan biomassa tajuk berdasarkan analisis ANOVA tidak berbeda nyata. Sedangkan pada biomassa total, perlakuan penambahan *crude oil* memberikan pengaruh nyata setelah 3 bulan pengamatan. Hasil uji lanjut Duncan 5% pengaruh konsentrasi *crude oil* terhadap biomassa total pada setiap perlakuan disajikan pada Tabel. 4.5.

Tabel 4.5 Nilai rata-rata biomassa total pada berbagai perlakuan konsentrasi *crude oil*

Penggunaan	Konsentrasi	Konsentrasi	Konsentrasi	Konsentrasi
<i>C. zizanioides</i>	<i>crude oil</i>	<i>crude oil</i>	<i>crude oil</i>	<i>crude oil</i>
	0%	1%	3%	10%
	(M0)	(M1)	(M3)	(M10)
Biomassa				
Total				
<i>C. zizanioides</i>	4,8 ^b	5,1 ^b	5,6 ^b	3,9 ^a
(gr)				

Keterangan : Huruf yang berbeda menunjukkan pengaruh berbeda nyata dalam uji lanjut Duncan pada selang kepercayaan 95 %.

Nilai rata-rata biomassa total tertinggi terdapat pada konsentrasi minyak 3 %. Hal ini diduga karena semakin banyak konsentrasi *crude oil* yang ditambahkan maka semakin banyak sumber karbon yang dimanfaatkan untuk pertumbuhan tanaman salah satunya untuk biomassa tanaman. Sedangkan nilai rata-rata biomassa total tanaman pada konsentrasi minyak 10% sangat rendah karena tanaman pada 2 kali ulangan mati hal ini diduga PHC pada tanah menimbulkan lingkungan yang mencekam tanaman. Efek negatif PHC pada tanaman terjadi di atas permukaan tanah dan di bawah permukaan tanah. Menurut Alarcón (2006) beberapa pengaruh terhadap fisiologi tanaman yang dipaparkan pada PAH berhubungan dengan modifikasi sintesis enzim spesifik seperti laktase, dehalogenase, nitroreduktase, nitrilase, dan peroksidase) yang berkontribusi pada oksidasi inisial dan degradasi PAH pada rizosfer. Kematian tanaman vetiver pada hasil pengamatan (pada konsentrasi *crude*

oil 10%) dapat disebabkan karena gangguan fisiologis baik pada daun maupun akar.

Efek PHC di atas permukaan tanah termasuk deposisi PHC pada daun menyebabkan gangguan fisiologis yang memicu kematian tanaman. Macinnis-Ng dan Ralph (2003) dalam penelitiannya menyebutkan bahwa PHC pada permukaan daun mengurangi pertukaran gas (fotosintesis dan transpirasi) dengan menutup atau menghalangi stomata, merusak membran kloroplas, dan inhibisi terinduksi dengan mengakumulasi racun intermediet. Sebagai tambahan, respirasi meningkat akibat kerusakan mitokondria, yang secara potensial menyebabkan tekanan oksidatif (Torres dan Dangl, 2005). Tergantung pada komposisi *crude oil* seperti senyawa alkana, sikloalkana, aromatik, alkena, asam naftanik, sulfur, nitrogen dan sedikit logam seperti vanadium dan nikel, efek fitotoksik bisa diklasifikasikan dari akut sampai sangat berbahaya hingga menyebabkan kematian pada tanaman (Van Hamme *et al.*, 2003).

Berdasarkan paparan di atas dapat disimpulkan bahwa *C. zizanioides* tidak toleran terhadap kadar PHC yang ekstrim (pada percobaan kadar PHC yang dianggap ekstrim adalah kadar *crude oil* 10%) dan pertumbuhan optimum Vetiver selama 3 bulan terjadi pada konsentrasi *crude oil* 3%.

4.2 Pengaruh *Crude oil* terhadap Jumlah Bakteri *Bulk Soil* dan Bakteri Rizosfer *Chrysopogon zizanioides*

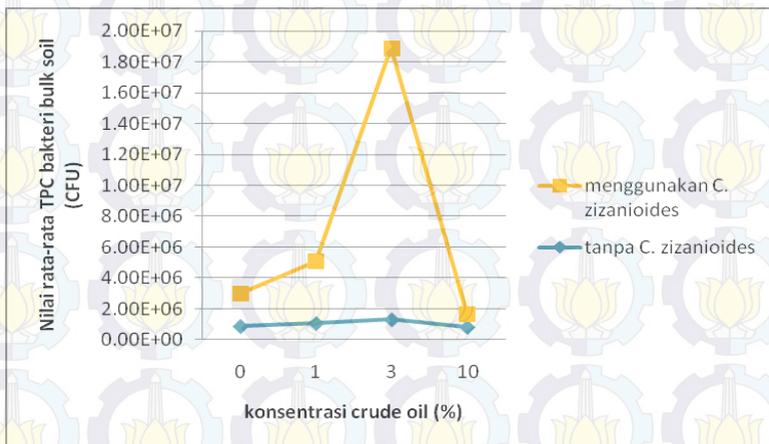
Crude oil pada tanah mempengaruhi jumlah bakteri tanah, semakin tinggi persentase *crude oil* semakin tinggi jumlah bakteri tanah. Kenaikan jumlah bakteri terjadi pada seluruh perlakuan pada bulan ke-3 kecuali pada *crude oil* 10% (M10). Konsentrasi *crude oil* dan penggunaan *C. zizanioides* tidak berpengaruh nyata terhadap jumlah bakteri pada *bulk soil*. Tetapi nilai rata-rata jumlah bakteri bulk pada tanah yang menggunakan tanaman Vetiver (*Chrysopogon zizanioides*) bernilai lebih tinggi dibandingkan dengan tanah tanpa menggunakan tanaman Vetiver

(*Chrysopogon zizanioides*) Jumlah bakteri pada *bulk soil* setelah bulan ke-3 pada Tabel. 4.6.

Tabel 4.6. Jumlah bakteri pada *bulk soil* setelah bulan ke-3

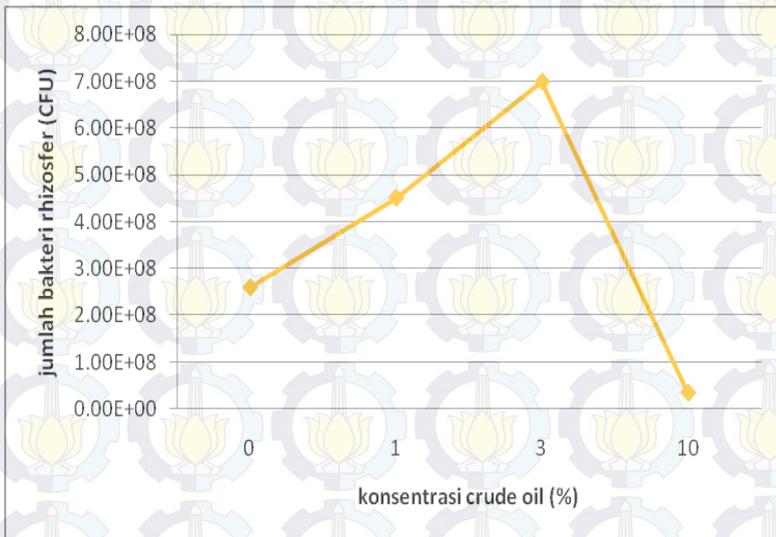
Konsentrasi crude oil (%) (M)	Jumlah Bakteri Bulk Soil (CFU)	
	Tanpa <i>C. zizanioides</i> (V0)	Menggunakan <i>C. zizanioides</i> (V1)
Konsentrasi crude oil 0% (M0)	8.67E+05	2.14E+06
Konsentrasi crude oil 1% (M1)	1.07E+06	4.02E+06
Konsentrasi crude oil 3% (M3)	1.30E+06	1.76E+07
Konsentrasi crude oil 10% (M10)	8.13E+05	8.33E+05

Untuk lebih detailnya dapat dilihat pada Gambar 4.7.



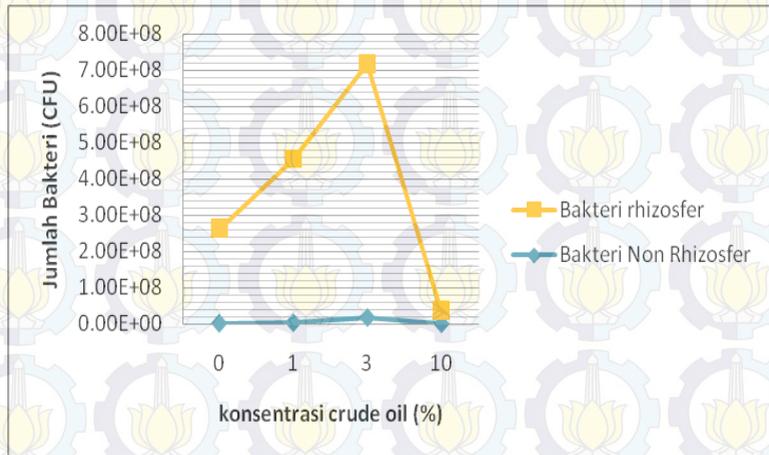
Gambar 4.7. Grafik jumlah bakteri bulk soil pada media tanpa *C. zizanioides* dan menggunakan *C. zizanioides*

Dari Gambar 4.6. menunjukkan adanya perbedaan nilai antara jumlah populasi bakteri antara perlakuan tanpa menggunakan *C. zizanioides* dan yang menggunakan *C. zizanioides*. Hal ini dikarenakan rumput memberikan zat-zat yang dibutuhkan oleh bakteri. Sesuai dengan pendapat Lay (1992) bahwa bagian dimana terjadi pertemuan antara akar dan tanah disebut rhizosfer, populasi bakteri pada bagian ini jauh lebih tinggi dibandingkan dengan bagian yang lainnya. Sehingga pada tanah yang terdapat tanaman jumlah bakteri lebih banyak. Bakteri mendominasi daerah rhizosfer, pertumbuhannya didukung oleh bahan nutrisi yang dilepaskan oleh jaringan akar tanaman misalnya asam amino, vitamin, dan zat hara lainnya sehingga bakteri mampu tumbuh lebih baik dan jumlah populasi bakteri lebih banyak di daerah rhizosfer ini. Nilai rata-rata jumlah bakteri rhizosfer dapat dilihat pada Gambar 4.8.



Gambar 4.8. Grafik jumlah rhizosfer pada media menggunakan *C. zizanioides*

Untuk membuktikan bahwa jumlah bakteri rizosfer lebih banyak dibandingkan dengan jumlah bakteri *bulk soil* dapat dilihat pada Gambar 4.9.



Gambar 4.9. Grafik perbandingan jumlah bakteri rizosfer dan bakteri non rhizosfer pada perlakuan berbagai konsentrasi *crude oil*

Dari Gambar 4.8. terlihat perbandingan yang sangat jauh antara jumlah populasi bakteri rizosfer dan bakteri non rhizosfer, hal ini diduga karena adanya efek rizosfer. Menurut Subba Rao (1994), efek rizosfer selain tampak dalam bentuk melimpahnya jumlah mikroorganisme juga dalam adanya distribusi bakteri yang memiliki ciri mempunyai kebutuhan khusus, yaitu asam amino, vitamin-vitamin B, dan faktor pertumbuhan khusus (kelompok nutrisi). Laju kegiatan metabolik mikroorganisme rizosfer itu berbeda dengan laju kegiatan metabolik mikroorganisme dalam tanah non-rizosfer.

4.3 Penurunan Nilai Hidrokarbon Petroleum Total (*Total Petroleum Hydrocarbon / TPH*)

Nilai TPH dianalisis pada pengamatan bulan ke-0 dan bulan ke-3. Pengukuran kadar TPH yang dilaporkan adalah kadar

TPH yang dinyatakan dalam persentase (%). Pengukuran dilakukan baik pada tanah yang ditanami maupun yang tidak ditanami *Chrysopogon zizanioides*. Hasil pengukuran kadar TPH kemudian digunakan untuk mengukur penurunan nilai TPH (tingkat degradasi TPH) setelah 3 bulan.

Fitoremediasi *crude oil* dengan *C. zizanioides* selama 3 bulan menunjukkan adanya perbedaan antara penurunan TPH pada media yang tanpa ditanami *C. zizanioides* dan media yang ditanami *C. zizanioides*. Pada media yang ditanami *Chrysopogon zizanioides* perlakuan penambahan *crude oil* 1% dan 3% , nilai rata-rata TPH (%) dengan 3 kali ulangan pada bulan ke-3 turun menjadi 0,81% dan 0,99% . Pada perlakuan penambahan *crude oil* 10% pada ulangan 1 dan 3, penurunan TPH sepenuhnya terjadi tanpa ada interaksi dengan tanaman, karena *C. zizanioides* mati pada minggu pertama. Hanya faktor penambahan *crude oil* yang berpengaruh terhadap nilai TPH setelah bulan ke-3, sementara penggunaan *C. zizanioides* tidak berpengaruh. Tetapi perlakuan penambahan *crude oil* 10% pada ulangan 2, penurunan TPH dapat terjadi karena adanya interaksi dengan tanaman, karena *C. zizanioides* pada ulangan ke-2 masih hidup hingga bulan ke-3.

Interaksi perlakuan berbagai konsentrasi *crude oil* dan penggunaan Vetiver (*Chrysopogon zizanioides*) berpengaruh nyata terhadap penurunan nilai TPH. Hal ini dikarenakan walaupun tumbuhan bersifat autotrof dan tidak bisa secara langsung memanfaatkan karbon dari *crude oil* namun dapat bekerja sama dengan bakteri atau mikroba dalam memanfaatkan hidrokarbon tersebut. Menurut Frick dkk., secara umum degradasi hidrokarbon mungkin tidak dapat dilakukan secara langsung oleh tumbuhan. Tetapi tumbuhan akan bekerjasama dengan mikroba atau tergantung pada tipe polutan, jenis mikroba dan lingkungannya.

Hasil uji lanjut Duncan 5% pengaruh interaksi perlakuan berbagai konsentrasi *crude oil* dan penggunaan rumput *Chrysopogon zizanioides* terhadap nilai TPH setelah 3 bulan disajikan dalam Tabel 4.7.

Tabel 4.7 Nilai rata-rata TPH pada awal dan akhir penelitian

Kode Perlakuan	TPH Awal (%)	TPH setelah 3 Bulan (%)
M0V0	0,4	0,01 ^{ax}
M1V0	0,8	0,39 ^{cx}
M3V0	3,5	1,38 ^{dx}
M10V0	6,4	4,44 ^{bx}
M0V1	0,3	0,04 ^{ay}
M1V1	1,8	0,35 ^{cy}
M3V1	3,9	0,39 ^{dy}
M10V1	6	3,01 ^{by}

Keterangan : Huruf yang berbeda menunjukkan pengaruh berbeda nyata dalam uji lanjut Duncan pada selang kepercayaan 95 %. M0V0 = Penambahan *crude oil* 0% tanpa penambahan *C. zizanioides*; M1V0 = Penambahan *crude oil* 1% tanpa penambahan *C. zizanioides*; M3V0 = Penambahan *crude oil* 3% tanpa penambahan *C. zizanioides*; M10V0 = Penambahan *crude oil* 10% tanpa penambahan *C. zizanioides*; M0V1 = Penambahan *crude oil* 0% dengan penambahan *C. zizanioides*; M1V1 = Penambahan *crude oil* 1% dengan penambahan *C. zizanioides*; M3V1 = Penambahan *crude oil* 3% dengan penambahan *C. zizanioides*; M10V1 = Penambahan *crude oil* 10% dengan penambahan *C. zizanioides*.

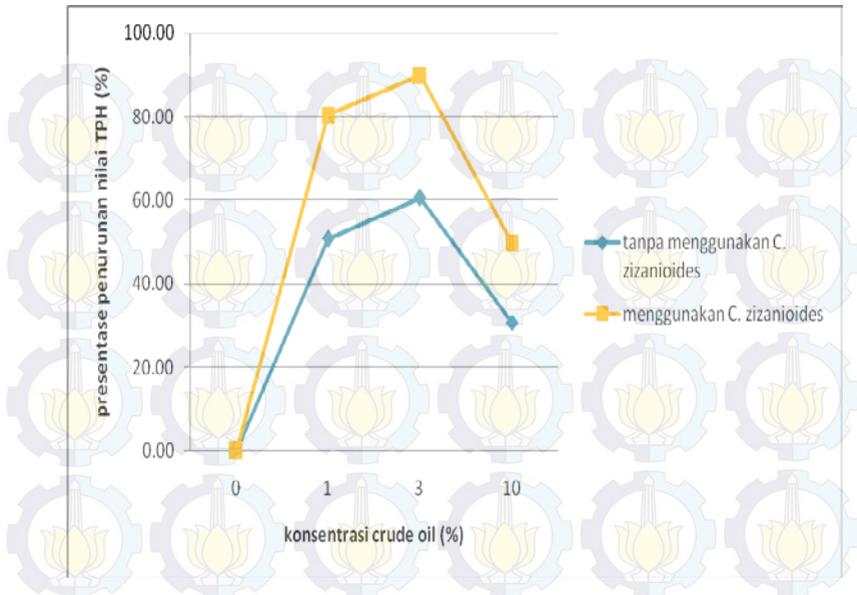
Pada Tabel 4.7 dapat dilihat bahwa setelah 3 bulan, nilai TPH pada masing-masing perlakuan menurun secara signifikan. Namun penurunan nilai TPH pada media yang menggunakan *C. zizanioides* lebih tinggi dibandingkan pada media tanpa menggunakan *C. zizanioides*. Penurunan rata-rata nilai TPH (%) pada interaksi perlakuan konsentrasi *crude oil* dan pemanfaatan *Chrysopogon zizanioides* setelah 3 bulan dapat dilihat pada Tabel 4.8.

Tabel 4.8. Penurunan rata-rata nilai TPH (%) pada interaksi perlakuan konsentrasi *crude oil* dan pemanfaatan *Chrysopogon zizanioides* setelah 3 bulan

Konsentrasi <i>crude oil</i> (%) (M)	Penurunan rata-rata nilai TPH (%)	
	Tanpa <i>C. zizanioides</i> (V0)	Menggunakan <i>C. zizanioides</i> (V1)
Konsentrasi <i>crude oil</i> 0% (M0)	0,00 ^{ax}	0,00 ^{ax}
Konsentrasi <i>crude oil</i> 1% (M1)	50,74 ^{cx}	80,31 ^{cy}
Konsentrasi <i>crude oil</i> 3% (M3)	60,57 ^{dx}	89,92 ^{dy}
Konsentrasi <i>crude oil</i> 10% (M10)	30,70 ^{bx}	49,81 ^{by}

Keterangan : Huruf yang berbeda menunjukkan pengaruh berbeda nyata dalam uji lanjut Duncan pada selang kepercayaan 95 %.

Tabel 4.8. menunjukkan bahwa pada perlakuan M0 (0%) didapatkan hasil yang berbeda nyata dengan perlakuan lainnya. Hal ini diduga karena tidak adanya *crude oil* yang ditambahkan pada perlakuan ini sehingga tidak ada proses degradasi hidrokarbon. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 4.10.



Gambar 4.10. Grafik nilai penurunan TPH padabulan ke 3 setelah penanaman *C. zizanioides*

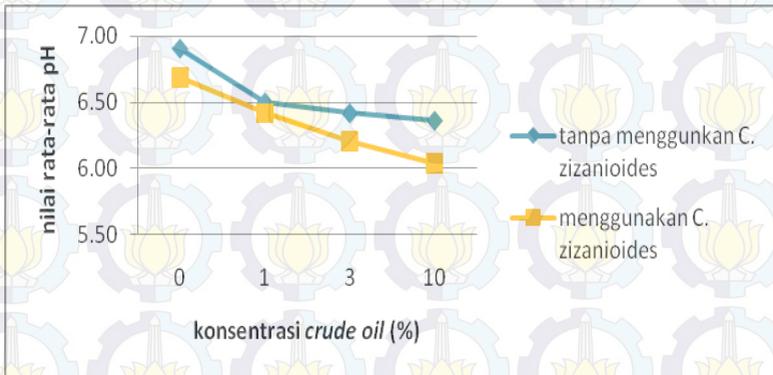
Pada Gambar 4.9. dapat diamati juga bahwa semakin tinggi penambahan hidrokarbon (*crude oil*), maka semakin besar penurunan nilai TPH. Hal ini diduga semakin tinggi konsentrasi *crude oil* yang ditambahkan maka semakin banyak sumber karbon yang tersedia. Diduga ada kerjasama antara bakteri yang hidup di perakaran rumput (*rhizosfer*) dan tumbuhan *Chrysopogon zizanioides* dalam memanfaatkan hidrokarbon yang ada pada *crude oil*. Menurut Clark (1942) dalam Bruehl (1987) daerah sekitar perakaran, rizosfer, relatif kaya akan nutrisi / unsur hara di mana fotosintat tanaman hilang sebanyak 40% dari akar. Konsekuensinya dukungan rizosfer cukup besar dan kemampuan menggunakan populasi mikrobial aktif yang bermanfaat, netral atau yang merusak berpengaruh terhadap pertumbuhan tanaman. Pentingnya populasi mikrobial di sekitar rizosfer adalah untuk

memelihara kesehatan akar, pengambilan nutrisi atau unsur hara, dan toleran terhadap stress / cekaman lingkungan pada saat sekarang telah dikenal. Mikroorganisme menguntungkan ini dapat menjadi komponen yang signifikan dalam manajemen pengelolaan untuk dapat mencapai hasil, yang mana ditegaskan bahwa hasil tanaman budidaya dibatasi hanya oleh lingkungan fisik alamiah tanaman dan potensial genetik bawaan.

Hidrokarbon yang ada didegradasi oleh bakteri dengan beberapa macam enzim yang dimilikinya dan akan menghasilkan CO_2 dan H_2O serta energi. Sebaliknya tumbuhan akan memanfaatkan CO_2 , H_2O dan energi untuk melakukan proses metabolismenya. Tumbuhan dalam hal ini *Chrysopogon zizanioides* akan mengeluarkan eksudat akar yang bias dimanfaatkan oleh bakteri untuk melakukan metabolisme yang hasilnya akan digunakan untuk meningkatkan aktifitasnya termasuk mendegradasi hidrokarbon crude oil bumi. Hal ini sesuai dengan yang dikemukakan oleh Wenzell bahwa rhizosfer merupakan habitat yang sangat baik untuk pertumbuhan mikroba karena akar menyediakan berbagai bahan organik yang umumnya menstimulir pertumbuhan mikroba. Bahan organik yang dikeluarkan akar dapat berupa: eksudat akar seperti gula, asam amino, asam organik, asam lemak, dan sterol, faktor tumbuh, nukleotida, flavonon dan enzim. Enzim utama yang dihasilkan oleh akar adalah oksidoreduktase, hidrolase, liase, dan transferase sedangkan enzim yang dihasilkan oleh mikroba di rhizosfer adalah selulase, dehidrogenase, urease, fosfatase, dan sulfatase. Sedangkan eksudat akar yang dihasilkan oleh tumbuhan *Chrysopogon zizanioides* berupa karbohidrat larut, asam organik, asam amino dan hormon pertumbuhan. Eksudat akar *C. zizanioides* menyediakan sumber nutrisi dan energi untuk pertumbuhan mikroba di rhizosfer (Russel, 1982 dan Lynch, 1990).

4.4 Parameter Lingkungan

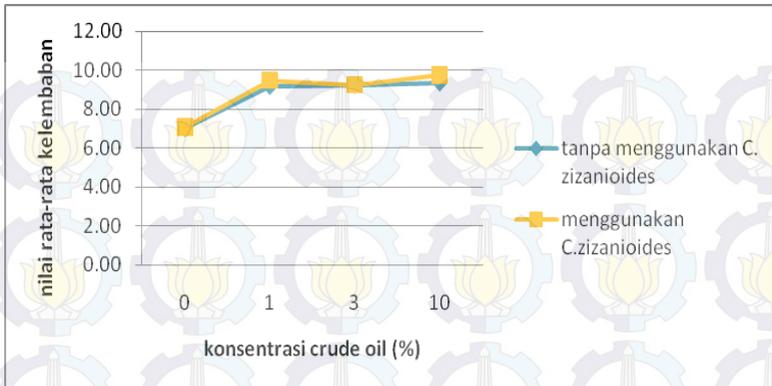
Penambahan *crude oil* menyebabkan penurunan pH pada tanah diduga karena PHC bersifat asam. Penurunan pH terjadi secara gradual dari penambahan *crude oil* 0% sampai 10%. Pada penambahan *crude oil* 10% penurunan pH sampai pada pH 6,03. Penggunaan *C. zizanioides* menyebabkan penurunan pH dibandingkan dengan media tanpa ditanami *C. zizanioides*. Untuk lebih detail dapat dilihat pada grafik 4.11.



Gambar 4.11. Grafik perhitungan pH masing-masing media tanpa *C. zizanioides* dan menggunakan *C. zizanioides*

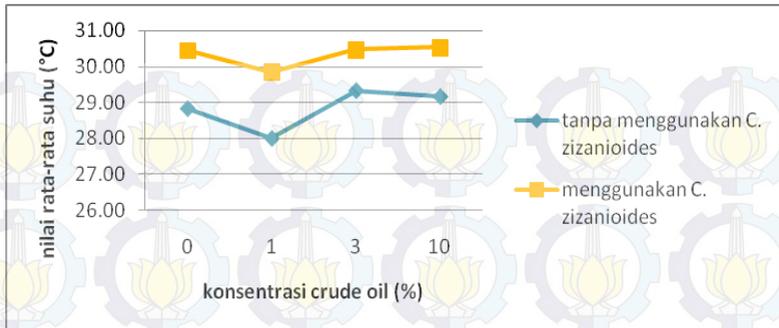
Penggunaan *C. zizanioides* menyebabkan peningkatan kemampuan tanah untuk menahan kelembaban tanah. Menurut Nanakorn *et al.* (2000) dalam Chomchalow (2000), akar *C. zizanioides* saling berikatan membentuk lapisan seperti dinding, yang memungkinkan tanaman ini mempertahankan air dan kelembaban, sehingga menciptakan lingkungan yang cocok untuk diversitas mikroorganisme di tanah.

Kenaikan kelembaban terjadi secara gradual dari *crude oil* 0% sampai 10%. Sedangkan rerata suhu tanah pada tiap perlakuan hampir sama, yaitu 30°C. Untuk lebih detailnya rerata kelembaban dapat dilihat pada Gambar 4.12.



Gambar 4.12. Grafik perhitungan rerata kelembaban masing-masing media tanpa *C. zizanioides* dan menggunakan *C. zizanioides*

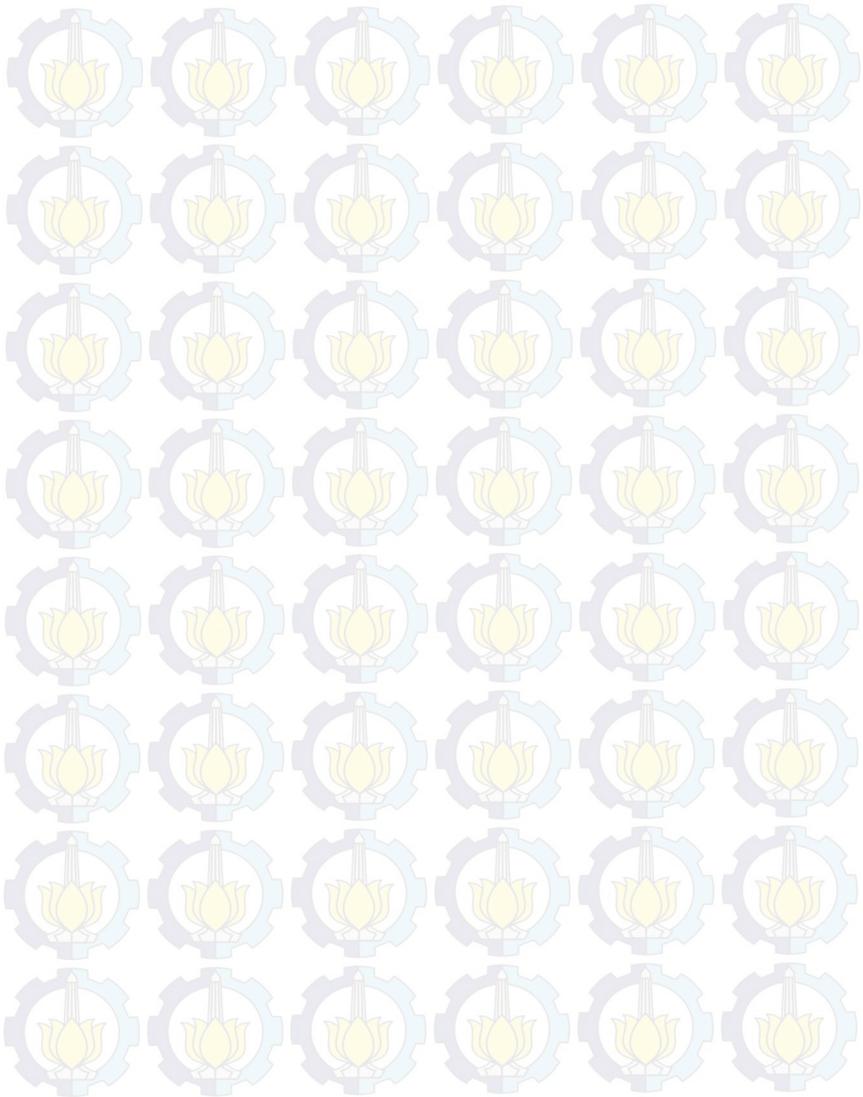
Kadar air sangat penting untuk proses metabolik bakteri pada limbah *crude oil* karena bakteri hidup aktif pada antar muka minyak-air (Atlas 1981; Udiharto 1996a dalam Herdiyanto 2005). Menurut Dibble dan Bartha (1979) dalam Herdiyanto (2005) kelembaban optimum untuk biodegradasi *crude oil* di lingkungan tanah adalah 30-90% kapasitas penyangga air. Kelembaban yang terlalu rendah menyebabkan tanah menjadi kering sedangkan terlalu tinggi akan mengurangi penyediaan oksigen. Sedangkan rerata suhu dapat dilihat pada Gambar 4.13.



Grafik 4.13. Perhitungan rerata suhu masing-masing media tanpa *C. zizanioides* dan menggunakan *C. zizanioides*

Suhu pada penelitian berkisar antara 25-31⁰ C. Suhu lingkungan mempengaruhi kemampuan bakteri dalam mendegradasi hidrokarbon *crude oil* (Atlas 1975 dalam Herdiyanto 2005). Skladany dan Metting (1993) dalam Herdiyanto (2005) menyatakan bahwa suhu mempengaruhi reaksi-reaksi biokimia. Menurut Atlas (1981) dalam Herdiyanto (2005) biodegradasi *crude oil* berlangsung pada kisaran suhu yang luas tetapi tidak selalu menjadi faktor utama yang membatasi biodegradasi jika faktor lingkungan lain baik.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”



BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

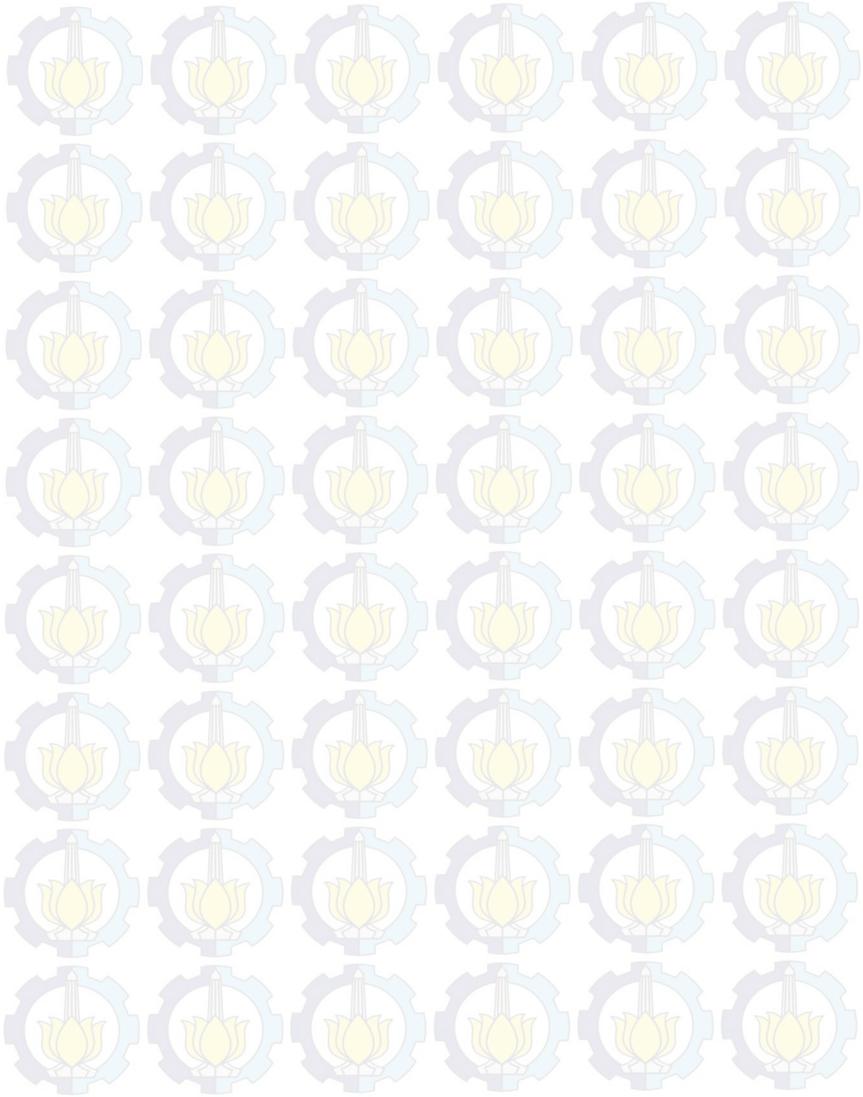
Hasil dari penelitian dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Pemanfaatan *Chrysopogon zizanioides* dapat meningkatkan degradasi PHC (*Petroleum Hydrocarbon*)
2. Pola degradasi dengan adanya *Chrysopogon zizanioides* pada penelitian ini menunjukkan bahwa semakin tinggi konsentrasi *crude oil* yang ditambahkan maka tingkat degradasi TPH juga semakin meningkat, tetapi *Chrysopogon zizanioides* tidak toleran terhadap konsentrasi *crude oil* yang terlalu tinggi (dalam penelitian ini konsentrasi tertinggi adalah 10%)
3. Degradasi PHC (*Petroleum Hydrocarbon*) berlangsung optimum pada kadar *crude oil*(*crude oil*) 3 % dengan pemanfaatan *Chrysopogon zizanioides* sebagai agen fitoremediasi yaitu sebesar 89,92%.

5.2 Saran

Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut mengenai identifikasi komposisi bakteri yang hidup di perakaran Vetiver (*Chrysopogon zizanioides*) pada suatu proses bioremediasi khususnya bioremediasi pada tanah terkontaminasi PHC (*Petroleum Hydrocarbon*).

“Halaman ini sengaja dikosongkan”



LAMPIRAN

Lampiran 1. Skema kerja

A. Penyiapan Media dan Perlakuan Penyiapan Media

Polybag ukuran 3 kg sebanyak 24 buah

- ditambahkan crude oilbumu mentah sesuai dengan perlakuan (lihat tabel 3.1)
- ditambahkan air dengan massa 40% dari massa media
- tanpa ditanami vetiver (perlakuan 1)
- ditanami vetiver (perlakuan 2)

Hasil

Penyiapan Tanaman

Chrysopogon zizanioides

- dipotong dengan ukuran yang sama (daun dengan panjang 20 cm dan akar dengan panjang 10 cm),
- disimpan di air selama 2 hari untuk meningkatkan kemampuan pertumbuhan akar.
- ditanamkan pada 12 bioreaktor (1 tanaman memiliki 2 helai daun)
- ditumbuhkan pada rumah kaca terbuka.

Hasil

Penyiapan dan Perbanyakan Bakteri

Isolat bakteri *Martina* sp., *Ellena* sp., dan *Victoria* sp.

- masing-masing dicampur ke dalam 400 ml media NB steril
- dan diinkubasi selama 24 jam
- diambil masing-masing sampel 10 ml untuk diukur OD dengan spektrofotometer dengan gelombang cahaya 680 nm.
- kultur dalam 400 ml NB dicampur dengan 1500 ml NB dan diaerasi selama 1 minggu hingga didapatkan kepadatan bakteri sebanyak 10^6 CFU/ml

Hasil perbanyakan bakteri

- diencerkan dengan air
- ditambahkan ke dalam masing-masing bioreaktor sebanyak 100 ml

Hasil

Pengairan dan Pemupukan

Seluruh bioreaktor

- disirami air sebanyak 100 ml
- dipupuk dengan pupuk anorganik Hyponex setelah 2 minggu penanaman
- pemupukan dilakukan bersamaan dengan pengairan

Hasil

B. Analisis hidrokarbon petroleum total (*Total Petroleum Hydrocarbon/TPH*)

Sampel tanah sebanyak 15 gram

- diambil pada bulan ke-0 dan pada bulan ke-3
- disimpan dalam kulkas pada suhu 4°C sampai penanganan selanjutnya
- 5 gram sampel tanah dihitung kadar air dengan dioven selama 4 jam dengan suhu 100°C dan ditimbang berat kering dan dihitung kadar air.
- 10 gram sampel tanah di preparasi dan diukur dengan menggunakan soxhlet
- dimasukkan ke dalam *cellulose thimble* dan ditutupi dengan *Glass wool* secukupnya.
- Heksana sebanyak 75 ml dan aseton sebanyak 75 ml dimasukkan ke dalam *still pot/flask* dan dirangkai menjadi *soxhlet apparatus*
- *soxhlet apparatus* dinyalakan selama 4 jam
- Crude oil yang telah terekstraksi dialirkan seluruhnya ke *still pot*
- Pelarut yang ada dalam still pot diuapkan dengan *rotary evaporator* selama 5 menit dengan suhu 80°C sampai pelarut menguap dan tertinggal crude oil saja
- Berat still pot ditimbang berisi crude oil ditimbang kembali setelah sebelumnya berat kosong ditimbang dan dihitung nilai TPH

Hasil

C. Penghitungan Nilai TPC Bakteri

Sampel sebanyak 5 gram

- diambil pada minggu ke-0, ke-6 dan minggu ke-12
- disimpan dalam kulkas pada suhu 4°C sampai penanganan selanjutnya
- ditimbang sebanyak 1 gram
- diencerkan secara desimal (10^{-1} sampai 10^{-10} dengan menggunakan tabung reaksi masing-masing diisi 9 ml media BH).
- Diambil 1 ml larutan dari pengenceran, dipipet ke dalam cawan petri steril (duplo).
- Medium *plate count agar* yang telah didinginkan sampai kira-kira 44° C sebanyak 10 ml dituangkan ke dalam cawan petri dan dihomogenkan.
- diinkubasi selama 24 jam
- dihitung nilai TPC

Hasil

D. Pengukuran Parameter Pertumbuhan

Tanaman vetiver

- dihitung tinggi tanaman pada bulan ke-0, bulan ke-2, dan bulan ke-3 menggunakan mistar dari pangkal daun hingga ujung daun
- dihitung jumlah anakan pada pada bulan ke-0, bulan ke-2, dan bulan ke-3. Jumlah nakan yang dihitung hanya anakan yang hidup saja.
- dihitung biomassa dihitung pada bulan ke-3 dengan mengambil akar dan daun
- akar dan daun ditimbang untuk mengetahui berat basahnya
- dikeringkan dalam oven pada suhu 60°C sekitar 3 hari, dan ditimbang setelah dikeluarkan dari oven
- dihitung biomassa keringnya

Hasil

E. Kadar Air (Kelembaban) dan Analisis pH

Soil tester

- ditancapkan ujungnya pada tanah
- ditekan tombol indikator
- dicatat nilai kelembaban dan pHnya

Hasil

F. Suhu Tanah

Termometer

- ditancapkan ujungnya pada tanah
- ditunggu sekitar 5 menit
- dicatat suhu yang tertera

Hasil

Lampiran 2. Uji ANOVA

A. Pengaruh *crude oil* terhadap pertumbuhan *C. zizanioides*

A1. Pengaruh *crude oil* terhadap tinggi tanaman/panjang tajuk *C. zizanioides*

[DataSet1] F:\data\SPSS Tugas Akhir Efi\BIOMASSA.sav

Descriptives

TINGGI

	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean		Minimum	Maximum
					Lower Bound	Upper Bound		
0	3	58.000	3.5000	2.0207	49.306	66.694	55.5	62.0
1	3	64.500	1.3229	.7638	61.214	67.786	63.0	65.5
3	3	70.667	7.8156	4.5123	51.252	90.082	63.5	79.0
10	3	14.333	24.8261	14.3333	-47.338	76.005	.0	43.0
Total	12	51.875	25.6923	7.4167	35.551	68.199	.0	79.0

Test of Homogeneity of Variances

TINGGI

Levene Statistic	df1	df2	Sig.
9.566	3	8	.005

TINGGI

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	5878.229	3	1959.410	11.336	.003
Within Groups	1382.833	8	172.854		
Total	7261.062	11			

Post Hoc Tests Homogeneous Subsets

TINGGI

Duncan

CRUDE_OIL	N	Subset for alpha = 0.05	
		1	2
10	3	14.333	
0	3		58.000
1	3		64.500
3	3		70.667
Sig.		1.000	.290

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

A2. Pengaruh *crude oil* terhadap jumlah anakan *C. zizanioides*

[DataSet1] F:\data\SPSS Tugas Akhir Efi\BIOMASSA.sav

Descriptives

ANAKAN

	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean		Minimum	Maximum
					Lower Bound	Upper Bound		
0	3	11.33	1.528	.882	7.54	15.13	10	13
1	3	10.00	1.000	.577	7.52	12.48	9	11
3	3	11.67	2.887	1.667	4.50	18.84	10	15
10	3	1.67	2.887	1.667	-5.50	8.84	0	5
Total	12	8.67	4.677	1.350	5.69	11.64	0	15

**Test of Homogeneity
of Variances**

ANAKAN

Levene Statistic	df1	df2	Sig.
2.815	3	8	.108

ANOVA

ANAKAN					
	Sum of Squares	Df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	200.667	3	66.889	13.378	.002
Within Groups	40.000	8	5.000		
Total	240.667	11			

Post Hoc Tests

Homogeneous Subsets

ANAKAN

Duncan

CRUDE _OIL	N	Subset for alpha = 0.05	
		1	2
10	3	1.67	
1	3		10.00
0	3		11.33
3	3		11.67
Sig.		1.000	.407

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

A3. Pengaruh cekaman *crude oil* terhadap panjang akar *C. zizanioides*

[DataSet1] F:\data\SPSS Tugas Akhir Efi\BIOMASSA.sav

Descriptives

PANJANG_
AKAR

	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean		Minimum	Maximum
					Lower Bound	Upper Bound		
0	3	59.00	19.000	10.970	11.80	106.20	43	80
1	3	78.33	2.309	1.333	72.60	84.07	77	81
3	3	109.00	15.100	8.718	71.49	146.51	93	123
10	3	15.33	26.558	15.333	-50.64	81.31	0	46
Total	12	65.42	38.667	11.162	40.85	89.98	0	123

Test of Homogeneity of Variances

PANJANG._AKAR

Levene Statistic	df1	df2	Sig.
3.567	3	8	.067

ANOVA

PANJANG._AKAR

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	13847.583	3	4615.861	14.206	.001
Within Groups	2599.333	8	324.917		
Total	16446.917	11			

Post Hoc Tests

Homogeneous Subsets

PANJANG_AKAR

Duncan

CRUDE_OIL	N	Subset for alpha = 0.05		
		1	2	3
10	3	15.33		
0	3		59.00	
1	3		78.33	78.33
3	3			109.00
Sig.		1.000	.225	.071

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

A4. Pengaruh *crude oil* terhadap biomassa *C. zizanioides*

[DataSet1] F:\data\SPSS Tugas Akhir Efi\BIOMASSA.sav

Descriptives

BIOMASSA_AKAR

	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean		Minimum	Maximum
					Lower Bound	Upper Bound		
0	3	1.60333	.526759	.304124	.29479	2.91187	1.234	2.206
1	3	2.57908	.502197	.289944	1.33156	3.82661	2.064	3.067
3	3	2.73742	.052943	.030566	2.60590	2.86893	2.695	2.797
10	3	1.40148	.088250	.050951	1.18226	1.62071	1.301	1.466
Total	12	2.08033	.686703	.198234	1.64402	2.51664	1.234	3.067

Test of Homogeneity of Variances

BIOMASSA_AKAR

Levene Statistic	df1	df2	Sig.
3.730	3	8	.061

ANOVA

BIOMASSA_AKAR

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	4.107	3	1.369	10.135	.004
Within Groups	1.081	8	.135		
Total	5.187	11			

Post Hoc Tests**Homogeneous Subsets**

BIOMASSA_AKAR

Duncan

CRUDE_OIL	N	Subset for alpha = 0.05	
		1	2
10	3	1.40148	
0	3	1.60333	
1	3		2.57908
3	3		2.73742
Sig.		.520	.612

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

[DataSet1] F:\data\SPSS Tugas Akhir Efi\BIOMASSA.sav

Descriptives

BIOMASSA_TAJUK

	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean		Minimum	Maximum
					Lower Bound	Upper Bound		
0	3	3.19333	.630927	.364266	1.62602	4.76064	2.692	3.902
1	3	2.55333	.151994	.087754	2.17576	2.93091	2.379	2.656
3	3	2.84882	.438519	.253179	1.75948	3.93816	2.343	3.114
10	3	1.58117	1.162500	.671170	-1.30664	4.46898	.751	2.910
Total	12	2.54416	.866277	.250073	1.99376	3.09457	.751	3.902

Test of Homogeneity of Variances

BIOMASSA_TAJUK

Levene Statistic	df1	df2	Sig.
4.790	3	8	.034

ANOVA

BIOMASSA_TAJUK

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	4.325	3	1.442	2.935	.099
Within Groups	3.930	8	.491		
Total	8.255	11			

Post Hoc Tests

Homogeneous Subsets

BIOMASSA_TAJUK

Duncan

CRUDE_OIL	N	Subset for alpha = 0.05	
		1	2
10	3	1.58117	
1	3	2.55333	2.55333
3	3	2.84882	2.84882
0	3		3.19333
Sig.		.066	.315

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

[DataSet1] F:\data\SPSS Tugas Akhir Efi\BIOMASSA.sav

Descriptives

RATIO_BIOMASSA_AKAR

	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean		Minimum	Maximum
					Lower Bound	Upper Bound		
0	3	1.5913	.12233	.07062	1.2874	1.8952	1.46	1.70
1	3	-.0258	.62845	.36284	-1.5869	1.5354	-.69	.56
3	3	.1114	.49040	.28313	-1.1068	1.3296	-.45	.42
10	3	.1797	1.14709	.66227	-2.6699	3.0292	-.72	1.47
Total	12	.4642	.90854	.26227	-.1131	1.0414	-.72	1.70

Test of Homogeneity of Variances

RATIO_BIOMASSA_AKAR

Levene Statistic	df1	df2	Sig.
3.660	3	8	.063

ANOVA

RATIO_BIOMASSA_AKAR

	Sum of Squares	Df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	5.147	3	1.716	3.491	.070
Within Groups	3.932	8	.492		
Total	9.080	11			

Post Hoc Tests

Homogeneous Subsets

RATIO_BIOMASSA_AKAR

Duncan

CRUDE_OIL	N	Subset for alpha = 0.05	
		1	2
1	3	-.0258	
3	3	.1114	
10	3	.1797	
0	3		1.5913
Sig.		.739	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

[DataSet1] F:\data\SPSS Tugas Akhir Efi\BIOMASSA.sav

Descriptives

BIOMASSA_TOTAL

	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean		Minimum	Maximum
					Lower Bound	Upper Bound		
0	3	4.79538	1.153902	.666206	1.92893	7.66183	3.926	6.104
1	3	5.13242	.394534	.227784	4.15234	6.11249	4.689	5.446
3	3	5.58623	.386926	.223392	4.62506	6.54741	5.139	5.810
10	3	2.98265	1.184300	.683756	.04069	5.92461	2.217	4.347
Total	12	4.62417	1.272156	.367240	3.81588	5.43246	2.217	6.104

Test of Homogeneity of Variances

BIOMASSA_TOTAL

Levene Statistic	df1	df2	Sig.
3.609	3	8	.065

ANOVA

BIOMASSA_TOTAL

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	11.723	3	3.908	5.143	.029
Within Groups	6.079	8	.760		
Total	17.802	11			

Post Hoc Tests

Homogeneous Subsets

BIOMASSA_TOTAL

Duncan

CRUDE_OIL	N	Subset for alpha = 0.05	
		1	2
10	3	2.98265	
0	3		4.79538
1	3		5.13242
3	3		5.58623
Sig.		1.000	.317

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

B. Pengaruh *crude oil* terhadap nilai TPC bakteri

B1. Pengaruh *crude oil* terhadap nilai TPC bakteri *bulk soil*

[DataSet1] F:\data\SPSS Tugas Akhir Efi\BIOMASSA.sav

Descriptives

BAKTERI_BULK_SOIL

	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean		Minimum	Maximum
					Lower Bound	Upper Bound		
0	3	1.4240E7	1.18944E7	6.86724E6	-1.5307E7	4.3787E7	9.20E5	2.38E7
1	3	8.0233E6	1.29712E7	7.48894E6	-2.4199E7	4.0246E7	3.70E5	2.30E7
3	3	4.2058E6	3.60744E6	2.08275E6	-4.7555E6	1.3167E7	4.18E5	7.60E6
10	3	1.1593E7	1.49985E7	8.65937E6	-2.5665E7	4.8852E7	7.00E5	2.87E7
Total	12	9.5156E6	1.07304E7	3.09761E6	2.6978E6	1.6333E7	3.70E5	2.87E7

Test of Homogeneity of Variances

BAKTERI_BULK_SOIL

Levene Statistic	df1	df2	Sig.
2.452	3	8	.138

ANOVA

BAKTERI_BULK_SOIL

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	1.712E14	3	5.706E13	.417	.746
Within Groups	1.095E15	8	1.369E14		
Total	1.267E15	11			

Post Hoc Tests

Homogeneous Subsets

BAKTERI_BULK_SOIL

Duncan

CRUDE_OIL	N	Subset for alpha = 0.05	
3	3		4.2058E6
1	3		8.0233E6
10	3		1.1593E7
0	3		1.4240E7
Sig.			.351

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

B1. Pengaruh cekaman *crude oil* terhadap nilai TPC bakteri rhizosfer
 [DataSet1] F:\data\SPSS Tugas Akhir Efi\BIOMASSA.sav

Descriptives

BAKTERI_RHIZOSFER

	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean		Minimum	Maximum
					Lower Bound	Upper Bound		
0	3	2.5933E8	2.52233E8	1.45627E8	-3.6725E8	8.8591E8	9.80E7	5.50E8
1	3	4.5067E8	3.62355E8	2.09206E8	-4.4947E8	1.3508E9	5.20E7	7.60E8
3	3	6.9900E8	7.34427E8	4.24022E8	-1.1254E9	2.5234E9	1.37E8	1.53E9
10	3	1.0272E8	1.00622E8	5.80941E7	-1.4724E8	3.5268E8	2.46E6	2.04E8
Total	12	3.7793E8	4.35202E8	1.25632E8	1.0142E8	6.5444E8	2.46E6	1.53E9

Test of Homogeneity of Variances

BAKTERI_RHIZOSFER

Levene Statistic	df1	df2	Sig.
4.438	3	8	.041

ANOVA

BAKTERI_RHIZOSFER

	Sum of Squares	Df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	5.945E17	3	1.982E17	1.065	.416
Within Groups	1.489E18	8	1.861E17		
Total	2.083E18	11			

Post Hoc Tests**Homogeneous Subsets**

BAKTERI_RHIZOSFER

Duncan

CRUDE_OIL	N	Subset for alpha = 0.05	
		1	
10	3		1.0272E8
0	3		2.5933E8
1	3		4.5067E8
3	3		6.9900E8
Sig.			.150

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

[DataSet1] F:\data\SPSS Tugas Akhir Efi\BIOMASSA.sav

Descriptives**RATIO_BAKTERI_RHIZOSFER**

	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean		Minimum	Maximum
					Lower Bound	Upper Bound		
0	3	2.4507E8	2.49998E8	1.44336E8	-3.7596E8	8.6610E8	7.42E7	5.32E8
1	3	4.4253E8	3.59531E8	2.07575E8	-4.5059E8	1.3357E9	5.16E7	7.59E8
3	3	6.9400E8	7.29687E8	4.21285E8	-1.1186E9	2.5066E9	1.37E8	1.52E9
10	3	9.1127E7	1.04111E8	6.01085E7	-1.6750E8	3.4975E8	-2.92E6	2.03E8
Total	12	3.6818E8	4.34939E8	1.25556E8	9.1834E7	6.4453E8	-2.92E6	1.52E9

Test of Homogeneity of Variances**RATIO_BAKTERI_RHIZOSFER**

Levene Statistic	df1	df2	Sig.
4.284	3	8	.044

ANOVA

RATIO_BAKTERI_RHIZOSFER

	Sum of Squares	Df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	6.108E17	3	2.036E17	1.108	.401
Within Groups	1.470E18	8	1.838E17		
Total	2.081E18	11			

Post Hoc Tests

Homogeneous Subsets

RATIO_BAKTERI_RHIZOSFER

Duncan

CRUDE_OIL	N	Subset for alpha = 0.05	
			1
10	3		9.1127E7
0	3		2.4507E8
1	3		4.4253E8
3	3		6.9400E8
Sig.			.144

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

[DataSet1] F:\data\SPSS Tugas Akhir Efi\spss efi.sav

Warnings

Post hoc tests are not performed for VETIVER because there are fewer than three groups.

Between-Subjects Factors

		N
CRUDE_OIL	0	6
	1	6
	3	6
	10	6
VETIVER	V0	12
	V1	12

Descriptive Statistics

Dependent Variable: Bakteri_bulk_soil

CRUDE_OIL	VETIVER	Mean	Std. Deviation	N
0	V0	8.6733E5	6.93889E5	3
	V1	1.4240E7	1.18944E7	3
	Total	7.5537E6	1.05087E7	6
1	V0	1.0650E6	1.20028E6	3
	V1	8.0233E6	1.29712E7	3
	Total	4.5442E6	9.07760E6	6
3	V0	4.9600E5	4.86485E5	3
	V1	4.2058E6	3.60744E6	3
	Total	2.3509E6	3.07066E6	6
10	V0	2.2467E6	3.51171E6	3
	V1	1.1593E7	1.49985E7	3
	Total	6.9200E6	1.10056E7	6
Total	V0	1.1688E6	1.76146E6	12
	V1	9.5156E6	1.07304E7	12
	Total	5.3422E6	8.64447E6	24

Levene's Test of Equality of Error Variances^a

Dependent Variable: Bakteri_bulk_soil

F	df1	df2	Sig.
6.678	7	16	.001

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

a. Design: Intercept + CRUDE_OIL + VETIVER + CRUDE_OIL * VETIVER

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent
Variable: Bakteri_bulk_soil

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	5.943E14 ^a	7	8.491E13	1.208	.353
Intercept	6.849E14	1	6.849E14	9.747	.007
CRUDE_OIL	1.018E14	3	3.393E13	.483	.699
VETIVER	4.180E14	1	4.180E14	5.948	.027
CRUDE_OIL * VETIVER	7.453E13	3	2.484E13	.354	.787
Error	1.124E15	16	7.027E13		
Total	2.404E15	24			
Corrected Total	1.719E15	23			

a. R Squared = .346 (Adjusted R Squared = .060)

Estimated Marginal Means

1. VETIVER

Dependent Variable: Bakteri_bulk_soil

VETIVER	Mean	Std. Error	95% Confidence Interval	
			Lower Bound	Upper Bound
V0	1.169E6	2.420E6	-3.961E6	6298800.950
V1	9.516E6	2.420E6	4385574.050	1.465E7

2. CRUDE_OIL

Dependent Variable: Bakteri_bulk_soil

CRUDE_OIL	Mean	Std. Error	95% Confidence Interval	
			Lower Bound	Upper Bound
0	7.554E6	3.422E6	298679.037	1.481E7
1	4.544E6	3.422E6	-2.711E6	1.180E7
3	2.351E6	3.422E6	-4.904E6	9605904.296
10	6.920E6	3.422E6	-334987.630	1.417E7

3. CRUDE_OIL * VETIVER

Dependent Variable: Bakteri_bulk_soil

CRUDE_OIL	VETIVER	Mean	Std. Error	95% Confidence Interval	
				Lower Bound	Upper Bound
0	V0	8.673E5	4.840E6	-9.393E6	1.113E7
	V1	1.424E7	4.840E6	3979898.099	2.450E7
1	V0	1.065E6	4.840E6	-9.195E6	1.133E7
	V1	8.023E6	4.840E6	-2.237E6	1.828E7
3	V0	4.960E5	4.840E6	-9.764E6	1.076E7
	V1	4.206E6	4.840E6	-6.054E6	1.447E7
10	V0	2.247E6	4.840E6	-8.013E6	1.251E7
	V1	1.159E7	4.840E6	1333231.433	2.185E7

Post Hoc Tests
CRUDE_OIL

Multiple Comparisons

Dependent Variable: Bakteri_bulk_soil

	(I) CRUDE_OIL	(J) CRUDE_OIL	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
						Lower Bound	Upper Bound
Tukey HSD	0	1	3.0095E6	4.83989E6	.924	-1.0838E7	1.6857E7
		3	5.2028E6	4.83989E6	.709	-8.6443E6	1.9050E7
		10	633666.6667	4.83989E6	.999	-1.3213E7	1.4481E7
1	0	3	-3.0095E6	4.83989E6	.924	-1.6857E7	1.0838E7
		10	2.1933E6	4.83989E6	.968	-1.1654E7	1.6040E7
		3	-2.3758E6	4.83989E6	.960	-1.6223E7	1.1471E7
3	0	1	-5.2028E6	4.83989E6	.709	-1.9050E7	8.6443E6
		10	-2.1933E6	4.83989E6	.968	-1.6040E7	1.1654E7
		3	-4.5691E6	4.83989E6	.782	-1.8416E7	9.2779E6
10	0	1	-633666.6667	4.83989E6	.999	-1.4481E7	1.3213E7
		3	2.3758E6	4.83989E6	.960	-1.1471E7	1.6223E7
		10	4.5691E6	4.83989E6	.782	-9.2779E6	1.8416E7

Multiple Comparisons

Dependent Variable: Bakteri_bulk_soil

	(I) CRUDE_OIL	(J) CRUDE_OIL	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
						Lower Bound	Upper Bound
Tukey HSD	0	1	3.0095E6	4.83989E6	.924	-1.0838E7	1.6857E7
		3	5.2028E6	4.83989E6	.709	-8.6443E6	1.9050E7
		10	633666.6667	4.83989E6	.999	-1.3213E7	1.4481E7
1	0	1	-3.0095E6	4.83989E6	.924	-1.6857E7	1.0838E7
		3	2.1933E6	4.83989E6	.968	-1.1654E7	1.6040E7
		10	-2.3758E6	4.83989E6	.960	-1.6223E7	1.1471E7
3	0	1	-5.2028E6	4.83989E6	.709	-1.9050E7	8.6443E6
		1	-2.1933E6	4.83989E6	.968	-1.6040E7	1.1654E7
		10	-4.5691E6	4.83989E6	.782	-1.8416E7	9.2779E6
10	0	1	-633666.6667	4.83989E6	.999	-1.4481E7	1.3213E7
		1	2.3758E6	4.83989E6	.960	-1.1471E7	1.6223E7
		3	4.5691E6	4.83989E6	.782	-9.2779E6	1.8416E7

Based on observed means.

The error term is Mean Square(Error) = 70273515802083.300.

Homogeneous Subsets

Bakteri_bulk_soil

	CRUDE_OI L	N	Subset	
				1
Tukey HSD ^a	3	6		2.3509E6
	1	6		4.5442E6
	10	6		6.9200E6
	0	6		7.5537E6
	Sig.			.709
Duncan ^a	3	6		2.3509E6
	1	6		4.5442E6
	10	6		6.9200E6
	0	6		7.5537E6
	Sig.			.337

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Based on observed means.

The error term is Mean Square(Error) = 70273515802083.300.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 6.000.

C. Penurunan nilai TPH (*Total Petroleum Hydrocarbon*)

Univariate Analysis of Variance

[DataSet1] F:\data\SPSS Tugas Akhir Efi\spss efi.sav

Between-Subjects Factors

		N
CRUDE_OIL	0	6
	1	6
	3	6
	10	6
	VETIVER	V0
	V1	12

Descriptive Statistics

Dependent Variable:Penurunan_TPH

CRUDE_OIL	VETIVER	Mean	Std. Deviation	N
0	V0	.00	.000	3
	V1	.00	.000	3
	Total	.00	.000	6
1	V0	50.33	4.933	3
	V1	72.67	1.528	3
	Total	61.50	12.661	6
3	V0	60.00	8.544	3
	V1	91.33	3.215	3
	Total	75.67	18.107	6
10	V0	30.00	4.583	3
	V1	49.33	1.528	3
	Total	39.67	11.021	6
Total	V0	35.08	24.433	12
	V1	53.33	35.758	12
	Total	44.21	31.367	24

Levene's Test of Equality of Error Variances^a

Dependent Variable:Penurunan_TPH

F	df1	df2	Sig.
3.636	7	16	.015

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

a. Design: Intercept + CRUDE_OIL + VETIVER + CRUDE_OIL * VETIVER

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: Penurunan_TPH

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	22363.292 ^a	7	3194.756	191.685	.000
Intercept	46905.042	1	46905.042	2.814E3	.000
CRUDE_OIL	19581.792	3	6527.264	391.636	.000
VETIVER	1998.375	1	1998.375	119.902	.000
CRUDE_OIL * VETIVER	783.125	3	261.042	15.663	.000
Error	266.667	16	16.667		
Total	69535.000	24			
Corrected Total	22629.958	23			

a. R Squared = .988 (Adjusted R Squared = .983)

Estimated Marginal Means

1. CRUDE_OIL

Dependent Variable: Penurunan_TPH

CRUDE_OIL	Mean	Std. Error	95% Confidence Interval	
			Lower Bound	Upper Bound
0	1.776E-15	1.667	-3.533	3.533
1	61.500	1.667	57.967	65.033
3	75.667	1.667	72.133	79.200
10	39.667	1.667	36.133	43.200

2. CRUDE_OIL * VETIVER

Dependent Variable: Penurunan_TPH

CRUDE_OIL	VETIVER	Mean	Std. Error	95% Confidence Interval	
				Lower Bound	Upper Bound
0	V0	3.553E-15	2.357	-4.997	4.997
	V1	.000	2.357	-4.997	4.997
1	V0	50.333	2.357	45.337	55.330
	V1	72.667	2.357	67.670	77.663
3	V0	60.000	2.357	55.003	64.997
	V1	91.333	2.357	86.337	96.330
10	V0	30.000	2.357	25.003	34.997
	V1	49.333	2.357	44.337	54.330

Post Hoc Tests

CRUDE_OIL

Homogeneous Subsets

Penurunan_TPH

Duncan

CRUDE_OIL	N	Subset			
		1	2	3	4
0	6	.00			
10	6		39.67		
1	6			61.50	
3	6				75.67
Sig.		1.000	1.000	1.000	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Based on observed means.

The error term is Mean Square(Error) = 16.667.

Lampiran 3. Dokumentasi kegiatan penelitian



Pengadukan Analisis TPC dalam
laminar air flow



Chrysopogon zizanioides
dalam *compound pot*



media tanam



Crude oil





minyak sebelum diekstraksi



minyak setelah diekstraksi



sampel tanah untuk uji TPH



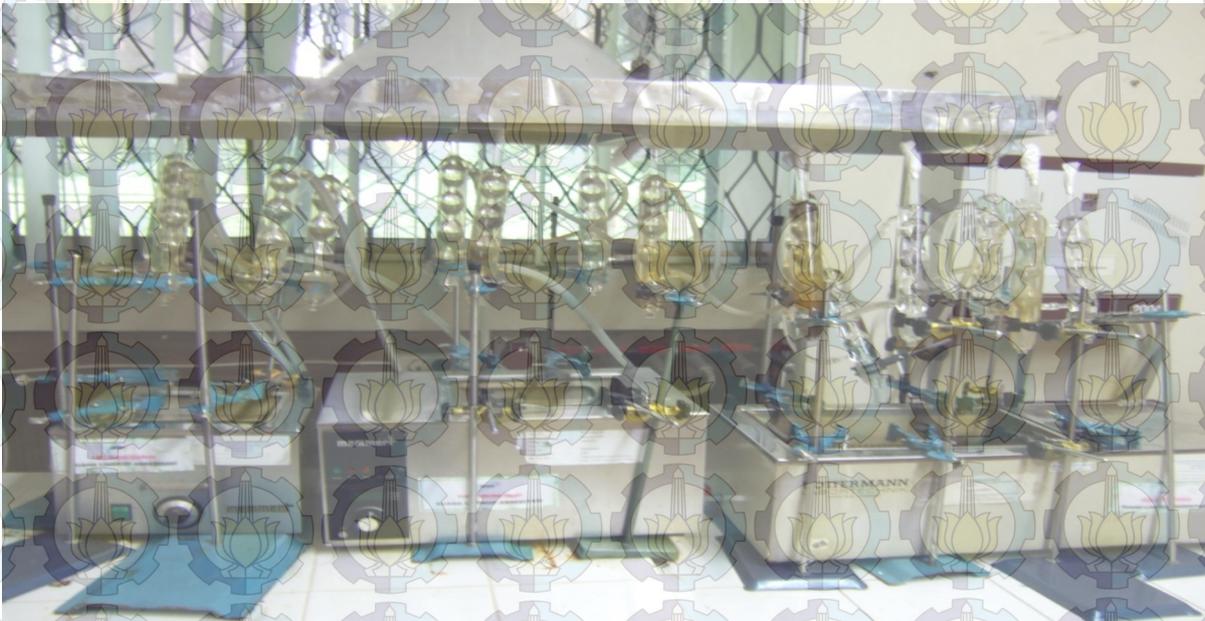
sampel tanah untuk uji TPC



Penimbangan massa minyak



Penimbangan biomassa tanaman



Soxhlet apparatus untuk uji TPH minyak

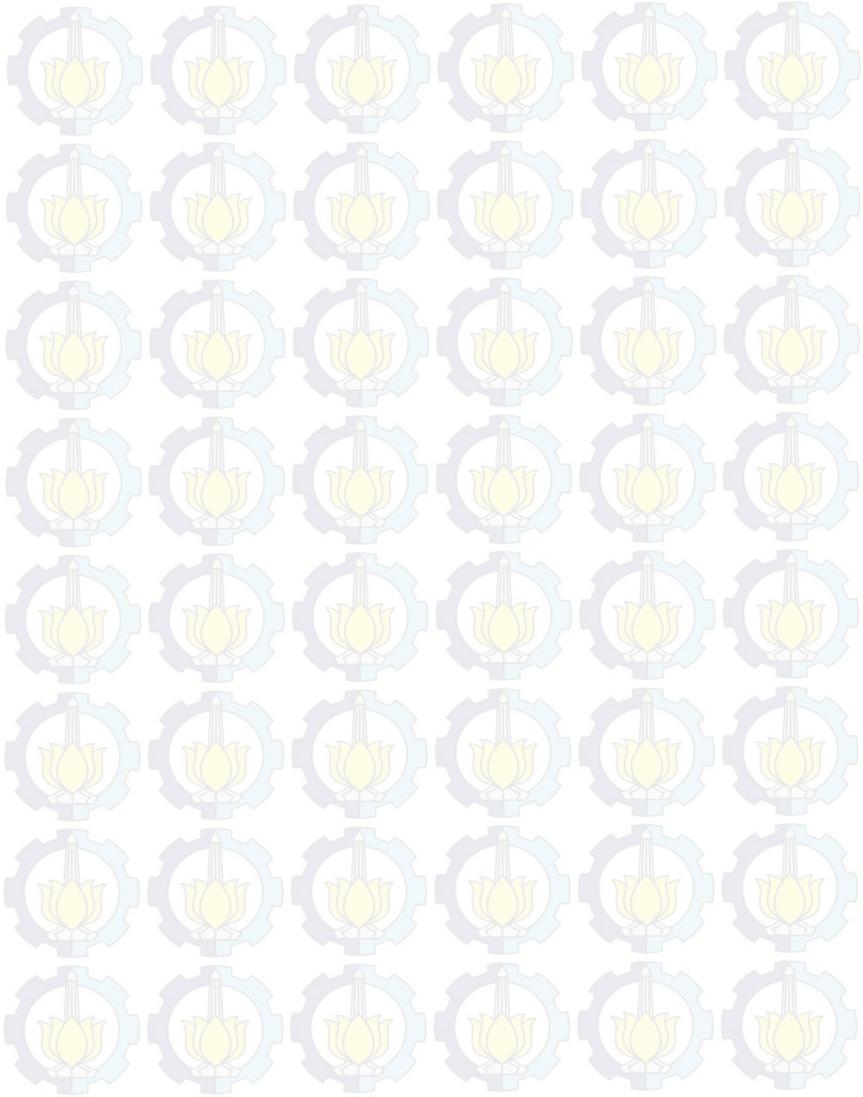
BIODATA PENULIS



Penulis bernama lengkap Efi Indra Yani adalah mahasiswa Jurusan S-1 Biologi FMIPA ITS Angkatan 2007. Penulis lahir pada tanggal 8 Desember 1988 di Kota Probolinggo. Sebelumnya, penulis telah menempuh pendidikan di SDN Kedung Dalem II Dringu, SMPN 2 Probolinggo, dan SMAN 1 Probolinggo. Selama masa perkuliahan penulis aktif sebagai asisten dosen pengampu mata kuliah Biologi Umum, dan Struktur dan Perkembangan Tumbuhan I. Disamping itu penulis juga aktif berorganisasi di Badan Eksekutif Mahasiswa FMIPA

ITS, di Himpunan Mahasiswa Biologi ITS (HIMABITS), dan ekstrakurikuler Workshop, Entrepreneurship and Teknologi (WE&T) ITS. Penulis juga sempat berpartisipasi dan memperoleh dana hibah DIKTI dalam Program Kreatifitas Mahasiswa (PKM 2007-2010). Penulis juga berpengalaman Kerja Praktek/ OJT (On The Job Training) di TOTAL E&P INDONESIA, Balikpapan-Kalimantan Timur di bidang Mikrobiologi Lingkungan yaitu mengenai proses Bioremediasi *Oil sludge* . Tugas akhir yang telah dilakukan ini merupakan salah satu bidang yang diminati oleh penulis, yaitu Bioremediasi limbah petroleum. Penulis mempunyai hobi membaca buku, *Browsing* dan *Diving*. Hidup ini penuh dengan pilihan, sebaik-baiknya manusia adalah manusia yang bermanfaat. Alamat email penulis: indrayani.efi@gmail.com

“ Halaman ini sengaja dikosongkan ”



DAFTAR PUSTAKA

Alarcón, A. (2006). The Physiology of Mycorrhizal *Lolium multiflorum* in the Phytoremediation of Petroleum Hydrocarbon-Contaminated Soil. *PhD Thesis*. Texas A&M University.

Bagariang, E. N. (2008). Uji Kemampuan Kembang Kuning (*Cassia surattensis*) terhadap Degradasi Hidrokarbon Oil Spill Studi Kasus PT. Chevron Pacific Indonesia Riau. *Tugas Akhir*. Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Jurusan Teknik Lingkungan, Surabaya.

Blakely, J., Neher, D., & Spongeberg, A. (2002). Soil invertebrate and microbial communities, and decomposition as indicators of polycyclic aromatic hydrocarbon contamination. *Applied Soil Ecology* (21), 71–88.

Brandt, R. (2003). Potential of vetiver (*Chrysopogon zizanioides* (L.) Nash) for the use in phytoremediation of petroleum hydrocarbon-contaminated soils in Venezuela. *Diplomarbeit*, Westfälische Wilhelms-Universität Münster, Institut für Landschaftsökologie, Münster.

Eapen, S., & D'Souza, S. F. (2004). Prospects of genetic engineering of plants for phytoremediation of toxic metals. *Biotechnology Advances* (23), 97-114.

Kamath, R., Rentz, J., Schnoor, J., & Alvarez, P. 2004. Phytoremediation of hydrocarbon-contaminated soil: principles and applications. dalam Vazquez-Duhalt, R. dan Quintero-Ramirez, R. (Penyunting). *Studies in Surface Science and Catalysis* 151. Elsevier B.V.

Kirk, J., Klironomos, J., Lee, H., & Trevors, J. (2002). Phytotoxicity assay to assess plant species for

phytoremediation of petroleum-contaminated soil. *Bioremed. J.* (6), 57-63.

Macinnis-Ng, C., & Ralph, P. (2003). In situ impact of petrochemicals on the photosynthesis of the seagrass *Zostera capricorni*. *Mar. Pollut. Bull.* (46), 1395-1407.

Mangkoediharjo, S. (2005). Remediation Technologies Selection for Oil-Polluted Marine Ecosystem. *Makalah*, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Jurusan Teknik Lingkungan, Surabaya.

Merkl, N., Schultze-Kraft, R., & Infante, C. (2005). Phytoremediation in the tropics – influence of heavy crude oil on root morphological characteristics of graminoids. *Environ. Pollut.*, 138, 86-91.

NRC. (1993). *Vetiver grass: a thin green line against erosion. Board on Science and Technology for International Development, National Research Council.* Washington D.C.: National Academy Press.

PPLI. (2010). *IPOC and Senipah Waste Management Overview.* Balikpapan.

Robertson, S. J., McGill, W. B., Massicotte, H. B., & Rutherford, P. M. (2007). Petroleum hydrocarbon contamination in boreal forest soil: a mycorrhizal ecosystems perspective. *Biological Reviews* (82), 213-240.

Siciliano, S., Fortin, N., Mihoc, A., Wisse, G., Labelle, S., Beaumier, D., *et al.* (2001). Selection of specific endophytic bacterial genotypes by plants in response to soil contamination. *Appl. Environ. Microbiol.*, 67, 2469-2475.

Suleimanov, R., Gabbasova, I., & Sitdikov, R. (2005). Changes in the properties of oily gray forest soil during biological reclamation. *Biological Bulletin* (32), 109–115.

Susilorukmi, A., & Sriwuryandari, L. (2006). Study on application of vetiver grass and enriched culture of microorganisms for phytoremediation of oil sludge on land site. *The 4th International Symposium on Sustainable Sanitation*. Bandung: LIPI-JST.

Tiquia, S., Lloyd, J., Herms, D., Hoitink, H., & Michel, F. (2002). Effects of mulching and fertilization on soil nutrients, microbial activity and rhizosphere bacterial community structure determined by analysis of TRFLPs of PCR-amplified 16S rRNA genes. *Applied Soil Ecology*, 21, 31–48.

Torres, M., & Dangl, J. (2005). Functions of the respiratory burst oxidase in biotic interactions, abiotic stress and development. *Curr. Opin. Plant Biol* (8), 397-403.

Trofimov, S., & Rozanova, M. (2003). Transformation of soil properties under the impact of oil pollution. *Eurasian Soil Science*, 36, S82–S87.

Van Hamme, J., Singh, A., & Ward, O. (2003). Recent advances in petroleum microbiology. *Microbiol. Mol. Biol. Rev.* (67), 503-549.

Xia, H., Liu, S., & Ao, H. (2000). A study on purification and uptake of garbage leachate by vetiver grass. *Proceedings of the Second International Vetiver Conference (IVC-2)*. Petchaburi.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

