

BIOREMEDIASI TANAH DENGAN TEKNIK *COMPOSTING* DI PT. X YOGYAKARTA

Andik Yulianto¹, Dewi Wulandari², Azizah Humaira Rusli³

¹²³Environmental Engineering Department, Faculty of Civil Engineering and Planning, Islamic University of Indonesia
Email: 14513120@students.uii.ac.id

Abstrak

PT X adalah merupakan salah satu pusat perawatan sarana perkeretaapian terbesar di ASEAN. Aktivitas perkeretaapian di *PT. X* Yogyakarta seperti pencucian mesin diesel dan rangka bawah dari kereta api mengakibatkan banyak tumpahan minyak berupa oli bekas dan solar pada tanah sekitar daerah pencucian. Salah satu teknik remediasi yang dapat digunakan adalah teknik *composting*. Penelitian ini dilakukan untuk mengevaluasi karakteristik fisika dan kimia tanah sebelum dan sesudah penerapan bioremediasi dengan pengujian parameter pendukung yaitu pH, suhu, kadar air dan Total Plate Count serta parameter utama yaitu Total Petroleum Hydrocarbon dan logam berat. Dalam penelitian ini dilakukan 1 kontrol dan 4 perlakuan untuk 2 jenis pupuk organik berbeda. Semua tanah dalam penelitian menggunakan total tanah sebanyak 5 kg. Perlakuan yang ada yaitu 2,5 %, 5%, 10% dan 20% penambahan pupuk organik dari total tanah tercemar. Masing-masing perlakuan menggunakan jenis pupuk hijau dan pupuk kandang untuk melihat perlakuan dan jenis pupuk organik yang paling efektif untuk menurunkan konsentrasi TPH. Berdasarkan hasil penelitian, perlakuan yang paling efektif dalam menurunkan konsentrasi TPH yaitu tanah tercemar dengan penambahan pupuk hijau 10% mampu menurunkan konsentrasi TPH sebesar 47%, lalu diikuti dengan tanah tercemar dengan penambahan pupuk kandang 20% mengalami penurunan sebesar 45%. Terjadi penurunan logam berat Pb dan Cd untuk semua perlakuan dan sudah memenuhi baku mutu berdasarkan Keputusan Menteri Negeri Lingkungan Hidup No. 128 Tahun 2003.

Kata Kunci: *composting, oli bekas, bioremediasi, total petroleum hydrocarbon, logam berat*

PENDAHULUAN

Latar Belakang

PT. X Yogyakarta yang merupakan tempat untuk perawatan, rehabilitasi dan modifikasi sarana perkeretaapian. Salah satu aktivitas yang ada di PT. X yaitu pencucian mesin diesel dan rangka bawah dari kereta api. Aktivitas tersebut mengakibatkan banyak tumpahan minyak berupa oli bekas dan solar pada tanah sekitar daerah pencucian. Tumpahan minyak pada tanah dapat menyebabkan berkurangnya suplai oksigen dan meracuni mikroorganisme yang ada sehingga mengakibatkan kematian pada mikroorganisme tersebut. Hidrokarbon yang terkandung dalam minyak

bumi bersifat reaktif, mutagenik, dan toksik sehingga berpotensi menimbulkan bahaya bagi lingkungan maupun kesehatan manusia. Dalam penelitian ini dilakukan perlakuan pada tanah tercemar minyak dengan penambahan pupuk organik dengan jenis dan persentase yang berbeda. Hal ini diharapkan dapat menstimulasi mikroba *indigenous* sehingga dapat bekerja optimal untuk mendegradasi hidrokarbon dan logam berat yang ada.

Tujuan Penelitian

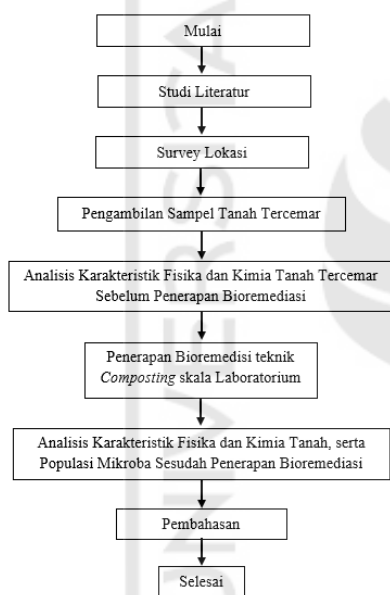
Berikut adalah tujuan dari penelitian ini:

1. Mengevaluasi karakteristik fisika (temperatur, kadar air) dan karakteristik kimia (*pH*, *TPH*, Pb, Cd) pada tanah tercemar di PT. X, Yogyakarta.
2. Mengevaluasi efek penerapan Bioremediasi dengan teknik *Composting* pada karakteristik fisika (temperatur, kadar air) dan karakteristik kimia (*pH*, *TPH*, Pb, Cd) tercemar di PT. X, Yogyakarta.

METODE PENELITIAN

Tahapan Penelitian

Penelitian dilakukan melalui tahapan sebagai berikut:



Gambar 1. Diagram alir penelitian Bioremediasi Tanah dengan Teknik *Composting* di PT. X, Yogyakarta

1. Pengambilan Sampel Tanah Tercemar

Pengambilan sampel tanah tercemar dilakukan di 7 titik yang berdekatan dengan sumber pencemar. Titik 1, 2, 3, dan 4 berdekatan dengan tempat penyimpanan oli bekas, sedangkan titik 5, 6, dan 7 berdekatan dengan tempat pencucian rangka bawah dan mesin diesel dari kereta api lokomotif. Untuk metode pengambilan sampel tanah terganggu (*disturbed soil sample*), sampel tanah dikemas menggunakan kantong plastik tebal kemudian diberi label yang berisikan informasi tentang lokasi, tanggal pengambilan dan kedalaman tanah (Suganda *et.al.*, 2006)

2. Persiapan penelitian bioremediasi tanah tercemar hidrokarbon dengan teknik *composting*
 - a. Persiapan reaktor tanah

Reaktor yang dipakai dalam penelitian berupa wadah plastik berdimensi 44 cm x 28 cm x 5 cm. Pada satu sisinya dilubangi dengan menggunakan bor listrik sebanyak 9 lubang dengan masing-masing lubang memiliki diameter 0,6 cm. Bagian bawah dari wadah yang berlubang lalu dipasang botol mineral 1,5 L secara horizontal. Wadah dan botol tersebut kemudian disusun berurutan pada bidang yang lebih tinggi hingga membentuk kemiringan 20°.

Wadah plastik diisi dengan campuran tanah tercemar dengan varian jenis dan persentase pupuk organik dengan berat total ± 5 kg. Tinggi tanah dalam reaktor yaitu 7 cm. Sebelum tanah ditimbang dan dimasukkan ke dalam wadah plastik, tanah tercemar dihaluskan dulu dengan menghancurkannya dengan menggunakan palu. Selanjutnya tanah tercemar dicampurkan dengan pupuk organik sesuai dengan persentase pupuk organik yang diujikan. Masing-masing reaktor penelitian dibuat pengulangan sebanyak 3 kali.

Reaktor kontrol terdiri dari:

1. Reaktor Kontrol (K) yaitu berisi tanah tercemar minyak (w/w terhadap berat total pengolahan)
2. Reaktor uji pengaruh penambahan pupuk organik dengan variasi sebagai berikut:
 - Pupuk Hijau
 - Reaktor H2,5 : tanah + pupuk hijau 2,5% (w/w terhadap berat total pengolahan)
 - Reaktor H5 : tanah + pupuk hijau 5% (w/w terhadap berat total pengolahan)
 - Reaktor H10 : tanah + pupuk hijau 10% (w/w terhadap berat total pengolahan)
 - Reaktor H20 : tanah + pupuk hijau 20% (w/w terhadap berat total pengolahan)

- Pupuk Kandang
- Reaktor K2,5 : tanah + pupuk kandang 2,5% (w/w terhadap berat total pengolahan)
- Reaktor K5 : tanah + pupuk kandang 5% (w/w terhadap berat total pengolahan)
- Reaktor K10 : tanah + pupuk kandang 10% (w/w terhadap berat total pengolahan)
- Reaktor K20 : tanah + pupuk kandang 20% (w/w terhadap berat total pengolahan)

c. Tahap pengoperasian reactor

Pada proses pengoperasian reaktor, dilakukan pengadukan untuk masing-masing campuran tanah dan pupuk organik tiap hari selama 30 hari pengoperasian reaktor untuk menghomogenkan antara tanah dan varian pupuk organik yang ada. Selain itu, dilakukan pengontrolan setiap harinya untuk memastikan agar kandungan air dari campuran tanah tersebut terjaga. Untuk itu, dilakukan penyiraman tanah jika diperlukan. Menurut Munawar (2012), untuk penambahan air dapat disemprotkan langsung ke permukaan tanah tercemar. Kelembaban tanah harus dijaga antara 12% sampai 30% dari berat tanah. Jika berat tanah pada satu reaktor adalah 5 kg, maka penyiraman air yang diperlukan untuk kelembaban tanah 12% yaitu 600ml (1 gr = 1 ml (air)). Pengadukan dan penyiraman pada tanah dalam reaktor bermaksud untuk menyuplai kebutuhan akan oksigen tanah. Selain itu, pengadukan juga dimaksudkan untuk menjaga suhu tumpukan tetap ideal.

d. Analisa parameter

Metode analisa yang digunakan untuk setiap parameter yang akan di uji adalah sebagai berikut:

Tabel 2. Frekuensi parameter uji pada pengolahan bioremediasi teknik composting pada tanah tercemar di PT. X, Yogyakarta

Parameter	Metode	Acuan	Frekuensi
pH	pH meter	SNI 03-6787-2002	Setiap 3 hari
Suhu	Termometer	SNI 06-6989.23-2005	Setiap hari

Kadar Air	Gravimetri	Standar ASTM D2216-92 (1996)	Setiap 3 hari
Total Petroleum Hydrocarbon (TPH)	Gravimetri	US EPA 1998	Setiap 3 hari
Kandungan Logam Berat	Spektrofotometer Serapan Atom	SNI 01-2354.5-2006, SNI 6989.16:2009	Awal dan Akhir Penelitian
Populasi Mikroba	Total Plate Count	SNI 01-2332.3-2006	Awal, Tengah, dan Akhir Penelitian

HASIL DAN PEMBAHASAN

Karakteristik Fisika Tanah Tercemar di PT. X

Berikut Karakteristik Fisika yang di uji pada tanah tercemar.

a. Suhu Tanah

Adapun suhu tanah tercemar pada tabel 3 berikut.

Tabel 3. Suhu Tanah pada 7 titik pengambilan Sampel Tanah Tercemar pada kedalaman 10 cm dan 40 cm di PT. X, Yogyakarta

Tanah	Suhu Tanah (°C)	
	10 cm	40 cm
T1	31	33
T2	32	33
T3	30,9	33,5
T4	32	33
T5	30,8	29,5
T6	32	31,4
T7	30,5	32

Semua sampel tanah pada penelitian awal berada pada suhu optimum sesuai dengan Billingsley dan Scheider (1990) yaitu 10° C – 40° C. Sampel tanah T1, T2, T3, T4 dan T7 memiliki suhu tanah lebih tinggi pada kedalaman 40 cm dibandingkan pada kedalaman 10 cm. Hal ini bisa disebabkan tanah pada kedalaman diatas 30 cm masih menyimpan energi radiasi matahari yang diterima sehari sebelumnya. Selain itu bisa dilihat secara fisik dari perbedaan warna tanah yang ada. Tanah dengan kedalaman 40 cm lebih gelap dibandingkan dengan tanah pada kedalaman 10 cm. Menurut Santosa (1986), tanah yang lebih gelap indeks suhunya lebih tinggi. Aktivitas mikroba juga dapat menjadi penyebab terjadinya kenaikan pada suhu tanah.

Sampel tanah T5 dan T6 memiliki suhu tanah pada kedalaman 10 cm yang lebih tinggi dibandingkan pada kedalaman 40 cm. Hal ini disebabkan oleh akumulasi transfer panas dari permukaan atau juga tingginya aktivitas mikroorganisme dalam merombak bahan organik pada lapisan tersebut. Struktur permukaan tanah yang mengeras juga bisa menjadi penyebab dari suhu tanah yang rendah, karena panas dari permukaan tanah tidak dalam merambat ke lapisan tanah yang lebih dalam secara konduksi (Mawardi dan Sudaryono, 2008).

b. Kadar Air Tanah

Pada penelitian awal ini, semua sampel tanah memiliki kadar air yang sangat jauh dari kadar air normal. Tanah biasanya memiliki kadar air berkisar antara 15% sampai 100% (Wesley, 1977). Jika nilainya berada di bawah 40% maka, menurut Cookson (1995), proses bioremediasi akan berjalan lambat atau terganggu, namun untuk mengoptimalkan proses degradasi hidrokarbon tidak boleh melebihi 60%. Menurut Indradana (1994), kedalaman lapisan tanah mempengaruhi kadar air. Semakin dalam lapisan tanah maka ketersediaan kadar air juga akan semakin banyak. Berikut tabel mengenai persentase kadar air pada tanah tercemar untuk penelitian awal.

Tabel 4. Kadar air pada 7 titik pengambilan sampel tanah tercemar pada kedalaman 10 cm dan 40 cm di PT. X, Yogyakarta

Tanah	Kadar air (%)	
	10 cm	40 cm
T1	3,7	4,4
T2	4,2	4,5
T3	1,7	2,2
T4	2,8	3,6
T5	2,0	1,8
T6	3,2	4,6
T7	1,8	2,6

Hal ini dapat dilihat dalam tabel diatas, bahwa semua sampel kecuali tanah T5, memiliki persentase kadar air yang lebih besar pada kedalaman tanah 40 cm dibandingkan dengan kadar air pada kedalaman tanah 10 cm. Tanah T5 memiliki kadar air yang lebih rendah

pada kedalaman tanah 40 cm. Hal ini disebabkan oleh kandungan *TPH* T5 yang paling tinggi dibandingkan dengan sampel tanah lain. Menurut Munawar (2012), tanah yang tercemar hidrokarbon akan menutupi partikel tanah sehingga air terperangkap dalam pori-pori tanah. Kondisi ini juga terjadi karena sifat partikel tanah lebih mudah berikatan dengan air dibandingkan dengan minyak.

Karakteristik Kimia Tanah Tercemar di PT. X

Karakteristik Sifat Kimia Tanah Tercemar adalah sebagai berikut.

a. *pH*

Derajat keasaman (*pH*) adalah indikator terjadinya proses biokimia. Kehidupan mikroorganisme dalam proses biodegradasi hidrokarbon sangat dipengaruhi oleh *pH*. Sebagian besar biodegradasi senyawa hidrokarbon berlangsung pada *pH* netral. Ada dua pengertian *pH* tanah yaitu *pH* aktual dan *pH* potensial. *pH* aktual adalah *pH* yang menunjukkan konsentrasi ion H^+ baik yang berada di dalam larutan tanah maupun yang berada di dalam larutan serapan (Wulandani, 2016)

Tabel 5. Nilai *pH* pada 7 titik tanah tercemar pada kedalaman 10 cm dan 40 cm di PT. X, Yogyakarta

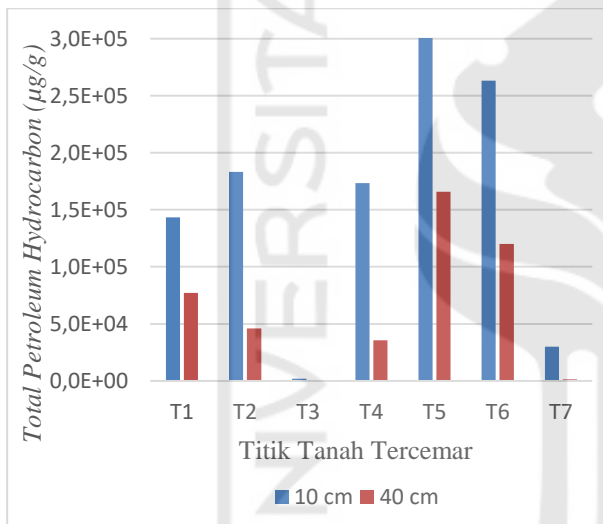
Tanah	<i>pH</i> (H ₂ O)		<i>pH</i> (KCl)	
	10 cm	40 cm	10 cm	40 cm
T1	7,4	5,9	6,4	6,1
T2	7,3	7,1	6,4	6,2
T3	8,3	7,8	6,4	5,1
T4	7,8	7,6	6,9	6,5
T5	6,7	5,6	6,1	5,6
T6	6,9	6,6	6	6
T7	8,2	7,8	6	5,8

Dapat dilihat pada tabel bahwa semua sampel tanah memiliki *pH* aktual dan *pH* potensial yang masih berada di kisaran *pH* netral dan *pH* alkali. Nilai *pH* lingkungan yang tercemar berpengaruh terhadap kemampuan mikroorganisme baik untuk menjalankan

fungsi selular, traspor membran sel maupun keseimbangan reaksi yang dilakukan oleh mikroorganismenya. Menurut Brodkorb (1992), Sebagian besar bakteri tumbuh dengan baik pada *pH* netral hingga *pH* alkali. Pertumbuhan mikroba tidak berlangsung dengan baik pada *pH* di bawah 5. Sedangkan degradasi senyawa hidrokarbon diketahui berlangsung lebih cepat pada *pH* di atas 7 jika dibandingkan dengan degradasi sama pada *pH* = 5.

b. Total Petroleum Hydrocarbon

Berikut nilai *TPH* dari 7 titik tanah tercemar pada gambar dibawah ini.

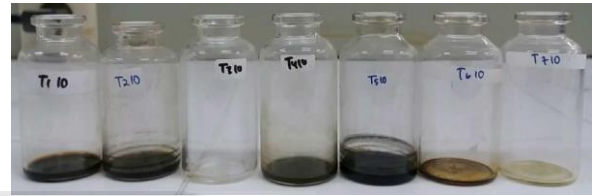


Gambar 2. Nilai *TPH* pada 7 titik tanah tercemar pada kedalaman 10 cm dan 40 cm di PT. X, Yogyakarta

T1, T2, T3 dan T4 berdekatan dengan tempat penyimpanan oli bekas, sedangkan T7 berada 10 meter dari tempat pencucian rangka bawah kereta api. Pada kedalaman 10 cm di titik T1, T2, T4 dan T7 memiliki nilai *TPH* yang tinggi dibandingkan pada kedalaman 40 cm. Hal ini dapat dipastikan tumpahan minyak tidak sampai pada kedalaman 40 cm dari tanah yang berarti persebaran dari tumpahan tanah tidak luas. Titik T3 memiliki nilai *TPH* yang rendah pada kedua kedalaman tanah.

Nilai *TPH* tertinggi pada kedalaman 10 cm dan 40 cm terdapat pada sampel tanah T5 dan T6. Titik T5

berada di belakang tempat pencucian bagian mesin diesel dari kereta api. Titik T6 berada di belakang tempat pencucian rangka bawah dari kereta api.



Gambar 3. Total Petroleum Hydrocarbon di 7 titik tanah tercemar pada kedalaman 10 cm di PT. X Yogyakarta

Berikut tabel mengenai persentase konsentrasi *TPH* pada 5 gram tanah tercemar yang diuji.

Tabel 6. Konsentrasi *TPH* (%) pada 7 titik tanah tercemar pada kedalaman 10 cm dan 40 cm di PT. X, Yogyakarta

Tanah	<i>TPH</i> (%)		Kriteria <i>TPH</i> (%)
	10 cm	40 cm	
T1	7	4	2-15
T2	9	2,3	
T3	0,098	0,016	
T4	9	2	
T5	16	8	
T6	13	6	
T7	1,49	0,07	

Untuk parameter *TPH* berdasarkan Kep-04/BAPEDAL/09/1995, Tanah pada titik T3 dan T7 yang memiliki konsentrasi *TPH* ≤1% bentuk penanganannya berupa penempatan pada lahan khusus dan terbatas dan pemanfaatan dengan ditanami tumbuhan yang non konsumsi atau menjadi bahan pencampur lapisan jalan, material bangunan dan lain-lain. Untuk konsentrasi *TPH* >2% maka proses pengolahan biologis dapat dilakukan hingga memenuhi kriteria sehingga titik T1, T2, T4, T5, dan T6 dapat digunakan untuk penelitian bioremediasi ini. Namun T5 dan T6 adalah titik yang paling memenuhi syarat untuk di bioremediasi karena memiliki nilai *TPH* yang paling tinggi pada titik tersebut.

Persyaratan dari limbah minyak bumi yang diolah secara biologis menurut Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup No. 128 Tahun 2003 salah satunya yaitu konsentrasi maksimum *TPH* awal sebelum proses pengolahan biologis tidak lebih dari 15%. Oleh karena itu, untuk perlakuan bioremediasi ini dilakukan pencampuran tanah T5 dan T6 dengan rasio 1:1. Hal ini diharapkan dapat mengurangi persentase konsentrasi *TPH* dalam tanah tercemar agar dapat di olah secara biologis.

c. Logam Berat

Berdasarkan Keputusan Menteri Negeri Lingkungan Hidup No. 128 Tahun 2003, sebelum melakukan pengolahan limbah minyak bumi dengan metode biologis maka perlu dilakukan analisis terhadap bahan yang diolah untuk mengetahui komposisi dan karakteristik limbah salah satunya yaitu total logam berat. Untuk Timbal baku mutunya yaitu 5 mg/L, dan Kadmium baku mutunya yaitu 1 mg/L.

Berikut tabel mengenai konsentrasi logam berat Pb dan Cd di 7 titik pengambilan sampel tanah tercemar.

Tabel 7. Logam Pb dan Cd pada 7 titik pengambilan sampel tanah tercemar di PT. X, Yogyakarta

Tanah	Pb (mg/L)		Baku Mutu Pb (mg/L)	Cd (mg/L)		Baku Mutu Cd (mg/L)
	10 cm	40 cm		10 cm	40 cm	
T1	1,63	1,72	5 mg/L	0,09	0,13	1 mg/L
T2	1,56	1,65		0,11	0,14	
T3	4,43	4,64		0,18	0,22	
T4	1,55	1,76		0,13	0,15	
T5	2,34	2,45		0,19	0,23	
T6	1,93	2,11		0,14	0,17	
T7	3,57	3,67		0,16	0,18	

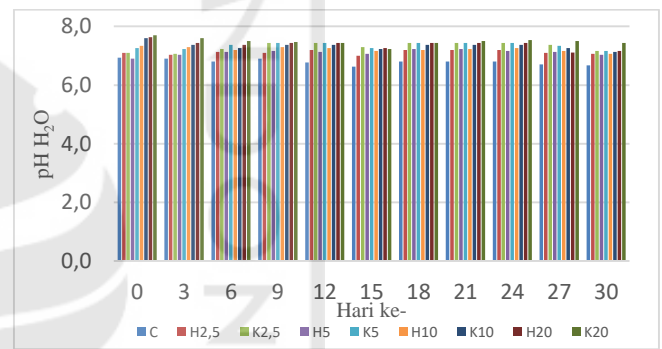
Dari hasil pengujian logam berat Pb dan Cd, kedua parameter tersebut masih dibawah baku mutu TCLP. Menurut Mühlbacova, *et al.*, (2005), kandungan logam berat tanah dapat dipengaruhi oleh beberapa

faktor diantaranya adalah jenis tanah dan kondisi tanah tersebut. Logam berat terdapat banyak pada tanah-tanah masam dan juga miskin bahan organiknya. Dari sebuah penelitian menyatakan bahwa pH tanah menurun selama beberapa hari setelah aplikasi logam berat dan mikroorganisme ke dalam tanah.

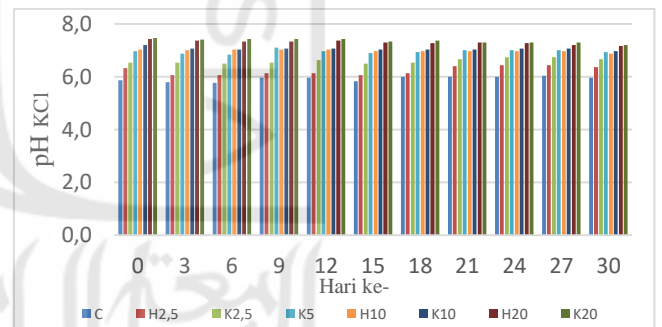
Pengaruh Bioremediasi dengan Teknik *Composting* terhadap Karakteristik Tanah di PT. X

a. pH tanah

Berikut pH tanah pada semua perlakuan.



Gambar 4. pH aktual pada tiap perlakuan per 3 hari selama 30 hari (n=3)



Gambar 5. pH potensial pada tiap perlakuan per 3 hari selama 30 hari (n=3)

Selama penelitian ini, semua reaktor memiliki nilai *pH* yang sesuai dengan nilai *pH* optimum karena menurut Nghia (2007) *pH* optimum untuk biodegradasi berada pada kisaran 6 sampai 8. Sedangkan menurut Wenti (2012) tingkat optimal pertumbuhan dan biodegradasi hidrokarbon dapat berlangsung pada keadaan yang cukup nutrisi, oksigen yang cukup dan *pH*

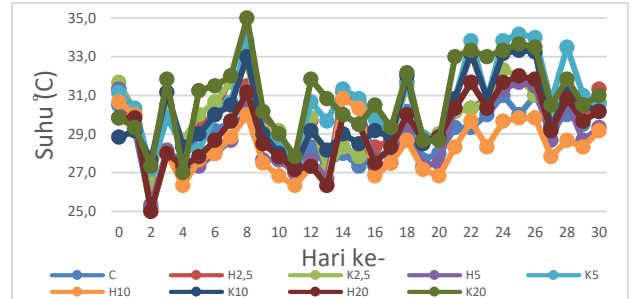
antara 6 dan 9. Semua reaktor mengalami penurunan pH pada hari ke- 15 karena terjadi hujan sepanjang hari, dan tanah terkena hujan. Pada Kontrol, pH terus mengalami penurunan hingga hari ke-30, sementara pH reaktor yang diberi kompos juga mengalami penurunan namun masih mendekati nilai pH netral. Hal ini juga terjadi pada penelitian Wulandani (2016). Dari 28 hari penelitian, nilai pH pada masing-masing reaktor pada hari ke-0 hingga hari ke-14 cenderung netral yaitu 6. Selanjutnya mulai hari ke-21 terjadi penurunan pH menjadi 5. Pada penelitian Juliani dan Rahman (2011), hasil pengujian pH pada tiap reaktor yang dilakukan pada hari ke-0 bersifat netral yaitu 7. Selanjutnya semua reaktor menunjukkan penurunan nilai pH menjadi 6 dan 5.

Penurunan pH tersebut bisa disebabkan oleh aktivitas mikroba yang membentuk metabolit-metabolit asam guna dapat beradaptasi dengan lingkungan yang baru. Hal ini dapat menjelaskan penyebab dari pH yang menurun pada awal perlakuan. Pada hari ke 27 mulai terjadi penurunan pH pada semua reaktor. Terjadinya penurunan pH karena terakumulasinya asam organik (terutama asam glukonat, piruvat, sitrat, dan suksinat) yang terbentuk dari metabolisme organik (Nugroho, 2006).

Berdasarkan Keputusan Menteri Negeri Lingkungan Hidup No. 128 Tahun 2003, nilai akhir hasil dari pengolahan minyak bumi secara biologis untuk parameter pH adalah 6 – 9 sehingga dapat disimpulkan semua sampel tanah yang di perlakuan telah memenuhi persyaratan nilai akhir untuk parameter pH .

b. Suhu Tanah

Berikut grafik mengenai suhu tanah pada semua perlakuan.



Gambar 6. Suhu tanah selama 30 hari pada tiap perlakuan tanah (n=3)

Pada penelitian Bernal, dkk., (2009), adanya peningkatan suhu mengindikasikan peningkatan aktivitas mikroorganisme dalam mendegradasi *Total Petroleum Hydrocarbon*. Selama proses penguraian bahan organik, mikroorganisme akan menguraikan substrat dan menghasilkan panas, sehingga terjadi peningkatan suhu. Sementara pada penelitian ini, suhu tanah akan naik jika cuaca cerah atau berawan dan akan turun jika terjadi hujan. Suhu tanah juga dipengaruhi oleh suhu udara terendah dan tertinggi harian. Selain itu, cuaca dan suhu udara pada hari sebelumnya juga dapat mempengaruhi suhu tanah. Pada hari ke-2 terjadi penurunan suhu tanah yang diduga disebabkan karena terjadi hujan pada dini hari sehingga suhu udara menurun dan mempengaruhi suhu tanah. Lain halnya lagi pada hari ke-8 terjadi kenaikan suhu tanah dikarenakan cuaca sedang cerah. Pada hari ke-15 terjadi hujan yang terjadi hampir satu hari penuh, namun pada grafik diatas tidak terjadi penurunan suhu tanah. Hal ini diduga disebabkan karena terpal yang menutup reaktor-reaktor tanah dapat menyimpan panas sehingga suhu tanah masih tinggi ketika diukur. Namun, dampak dari hujan pada hari ke-15 terlihat pada suhu tanah hari ke-16 yang mengalami penurunan karena tidak dilakukan penjemuran tanah pada hari ke- 15.

Dapat disimpulkan bahwa dalam penelitian ini, suhu tanah sangat dipengaruhi oleh suhu udara dan cuaca harian. Walaupun banyak faktor yang dapat menyebabkan perubahan suhu tanah seperti aktivitas mikroba namun dalam penelitian ini suhu tanah banyak dipengaruhi suhu udara dan lingkungan. Meskipun

demikian, rentang suhu tanah pada semua reaktor masih dalam kisaran suhu optimum tanah yaitu 10° C – 40° C (Billingsley dan Scheider, 1990).

c. Kadar Air

Berikut tabel mengenai kadar air pada tiap perlakuan.

Tabel 8. Kadar air tanah per 3 hari selama 30 hari (n=3)

Hari ke -	Kadar Air (%)								
	Kontrol	H2,5	K2,5	H5	K5	H10	K10	H20	K20
0	10	15	12	17	15	19	17	28	19
3	22	30	24	38	31	40	32	44	39
6	31	42	34	44	42	44	41	50	44
9	30	50	37	46	52	47	51	51	47
12	42	51	41	47	53	48	50	53	51
15	44	54	45	47	55	51	54	58	54
18	42	50	43	47	52	49	53	57	52
21	48	49	44	47	51	48	51	56	50
24	50	47	43	45	50	47	50	54	48
27	52	44	42	44	48	47	50	51	46
30	35	39	37	42	41	43	42	45	43

Hasil penelitian terhadap kandungan air yang terdapat di dalam tanah merupakan data penunjang hasil penelitian ini karena pengujian kadar air berfungsi untuk mengetahui kandungan air pada tanah. Jika nilainya berada di bawah 40% maka menurut Cookson (1995), proses bioremediasi akan berjalan lambat atau terganggu. Hasil penelitian terhadap kadar air di dalam tanah mengalami kenaikan yang penurunan. Dapat dilihat pada tabel perbedaan kadar air tanah pada hari ke-0, yang memiliki kadar air paling tinggi adalah tanah dengan penambahan pupuk organik paling banyak. Namun, tanah dengan pupuk hijau memiliki kadar air yang lebih tinggi di bandingkan terhadap tanah dengan pupuk kandang.

Pada hari ke 0 hingga ke15, kadar air mengalami kenaikan. Laju kenaikan kadar air ini dipengaruhi oleh porositas tanah. Hal ini sesuai dengan penelitian Barokah, *et.al* (2011) yang mengalami kenaikan kadar air pada tanah tercemar dengan penambahan pupuk. Menurutnya, penambahan pupuk dapat meningkatkan porositas tanah. Kondisi ini juga akan berpengaruh pada tingkat aerasi tanah dan status kadar air tanah. Penambahan pupuk sebagai tambahan nutrisi bagi mikroba juga akan meningkatkan

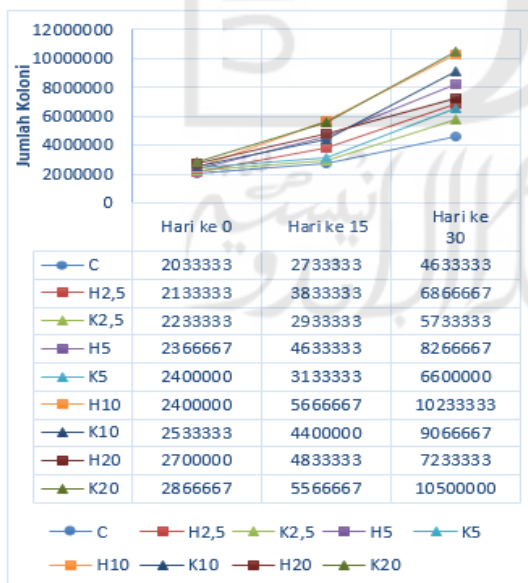
keberadaan mikroba dalam tanah. Mikroba *indigenous* dan mikroba dari pupuk dapat memanfaatkan hidrokarbon sebagai sumber energi, sehingga molekul-molekul minyak yang ada pada pori-pori tanah terlepas dan berisi dengan air.

Oleh karena itu, pada tabel 8. dapat terlihat semakin banyak pupuk pada tanah maka semakin cepat pula tanah tersebut menyimpan kandungan air yang lebih banyak. Dengan kemampuan mengikat air yang baik, maka penguapan air dari tanah akan berkurang. Pada hari ke 18 hingga ke 30 kadar air mengalami penurunan. Penyebab dari berkurangnya kadar air ini salah satunya adalah akibat penyerapan H₂O oleh mikroorganisme pendegradasi hidrokarbon. Mikroorganisme dalam melakukan metabolisme memerlukan H₂O sebagai pereaksi. Penambahan pupuk hijau dan pupuk kandang memiliki kemampuan menyerap air lebih besar, sehingga mampu mempertahankan kelembaban tanah. Penurunan TPH dan kelembaban menunjukkan bahwa kandungan air yang optimal mengakibatkan efisiensi penurunan TPH meningkat karena adanya proses transfer nutrisi bagi mikroba pendegradasi berjalan optimal.

Penurunan kadar air juga terjadi pada penelitian Juliani dan Rahman (2011). Terjadi penurunan kadar air yang disebabkan karena proses aerasi/pengadukan yang dilakukan setiap hari selama penelitian yang menyebabkan penguapan. Menurut Nugroho (2006), senyawa hidrokarbon akan mengalami degradasi secara alami karena faktor lingkungan meskipun laju degradasi berjalan lambat. Hal tersebut meliputi penguapan, teremulsi dalam air, teradsorpsi pada partikel padat, tenggelam dalam perairan serta mengalami biodegradasi oleh mikroba. Secara tidak langsung kadar air yang mengalami proses penguapan dapat menurunkan konsentrasi hidrokarbon terutama senyawa dengan berat molekul rendah yang biasanya bersifat toksik.

d. Total Plate Count

Pada hari ke – 0, tanah dengan pemberian pupuk kandang memiliki koloni bakteri yang lebih banyak dibandingkan terhadap tanah dengan pemberian pupuk hijau. Hasil analisis parameter *TPC* menunjukkan bahwa secara keseluruhan bakteri mampu bertahan dan berkembang biak pada hari ke – 15. Namun, jumlah koloni mikroba pada tanah dengan pupuk hijau lebih banyak di bandingkan terhadap tanah dengan pupuk kandang. Hal ini menandakan bahwa mikroba yang ada pada pupuk kandang tidak dapat menyesuaikan diri terhadap lingkungan baru sehingga mengalami kematian. Hal ini sesuai dengan penelitian Juliani dan Rahman (2011). Pada minggu pertama akan ada kemungkinan mikroba berada pada fase adaptasi. Namun pada minggu-minggu berikutnya, mikroba yang mampu bertahan sudah dapat beradaptasi dan berkembang biak dengan cepat karena mikroba *indigenous* telah terbiasa dengan kondisi toksik tanah tercemar hidrokarbon dan mampu bertahan hidup serta berkembang biak dalam kondisi lingkungan reaktor. Berikut hasil uji biologi pada masing-masing perlakuan terdapat dalam gambar 7.



Gambar 7. Total Plate Count (TPC) pada awal, tengah dan akhir penelitian (n=3)

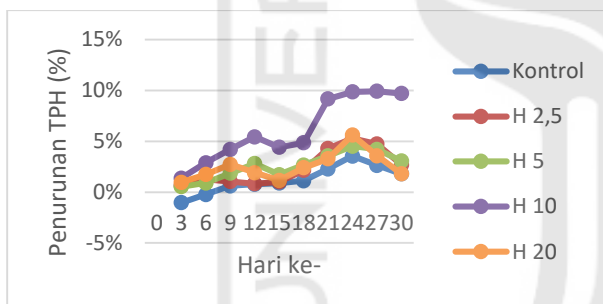
Jumlah koloni terbanyak pada hari ke-30 dari masing-masing jenis pupuk yaitu H10 dan K20. Dari data pada gambar 7. juga menunjukkan bahwa penambahan pupuk yang semakin banyak tidak memberikan sumbangan mikroba yang semakin banyak pula. Walaupun terjadi pertumbuhan jumlah koloni bakteri pada semua tanah, namun laju pertumbuhan koloni pada 30 hari penelitian ini lebih banyak dipengaruhi faktor lain seperti kadar air yang sangat mempengaruhi pertumbuhan mikroba. Semua perlakuan memiliki pH dan suhu tanah yang optimal, namun parameter pendukung yang sangat terlihat perbedaannya yaitu kadar air. Hal ini ditunjukkan oleh data tanah H20 dengan penambahan pupuk hijau paling banyak memiliki jumlah koloni yang lebih sedikit dibandingkan H10, karena kadar air H20 yang cenderung mendekati 60%. Menurut Cookson (1995), pada kadar air 60% proses dari mikroba untuk mendegradasi hidrokarbon tidak berjalan optimal karena jika kadar air terlalu tinggi akan mengurangi proses transfer udara. Jadi secara tidak langsung pemberian pupuk yang sesuai akan menyebabkan lingkungan yang baik bagi mikroba untuk berkembang biak.

Tanah Kontrol dengan tanpa penambahan pupuk masih mengalami pertumbuhan jumlah koloni bakteri, namun tidak sebanyak tanah dengan penambahan pupuk, karena tanah kontrol yang memiliki kadar air paling sedikit dibandingkan tanah lainnya. Sementara H10 dan K20 memiliki pH, suhu tanah dan kadar air yang optimal sehingga memiliki jumlah koloni mikroba yang paling besar dibandingkan dengan perlakuan lainnya. Oleh karena itu dapat dilihat bahwa penambahan pupuk hanya memberi pengaruh pada aktivitas bakteri di dalam lingkungan tanah dalam reaktor namun tidak berpengaruh dalam meningkatkan jumlah koloni bakteri dalam tanah. Menurut Cookson (1995) disamping mengandung unsur nitrogen, fosfor dan kalium, pupuk juga mengandung ion-ion logam yang dapat berfungsi sebagai kofaktor. Kofaktor merupakan kombinasi senyawa protein dan non-protein

yang dapat memberikan ektivitas katalitik pada enzim yang diproduksi oleh bakteri.

e. Total Petroleum Hydrocarbon

Hasil pengujian menunjukkan bahwa ada kecenderungan penurunan *TPH* pada semua perlakuan. Secara teori, tanah H20 dan K20 seharusnya menunjukkan penurunan *TPH* yang lebih baik dibandingkan tanah lainnya karena mengandung pupuk yang lebih banyak yaitu dengan proporsi tanah tercemar dan pupuk 8:2. Namun ternyata penurunan *TPH* paling baik terjadi pada tanah H10 dan K20. H10 memiliki jumlah proporsi tanah lebih banyak, yaitu dengan perbandingan tanah tercemar dan pupuk 9:1. Diduga bahwa mikroba pendegradasi senyawa hidrokarbon berada dalam kondisi yang lebih baik di dalam tanah dengan proporsi tanah tercemar lebih banyak, sehingga proses degradasi hidrokarbon berlangsung dengan baik pula.

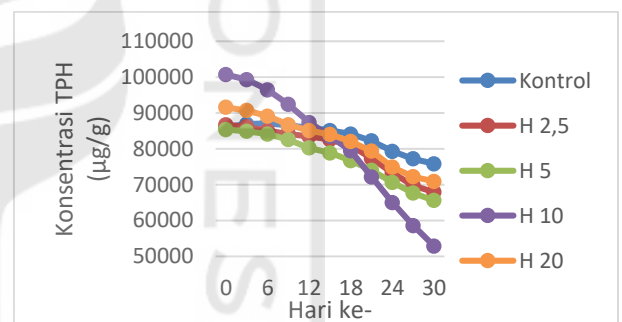


Gambar 8. Tingkat Penurunan *TPH* Kontrol dan Pupuk Hijau per 3 hari selama 30 hari (n=3)

Nilai *TPH* kontrol pada awal perlakuan yaitu sebesar 85.986,67 $\mu\text{g/g}$. Tingkat penurunan paling rendah pada penelitian ini terjadi pada kontrol hari ke-3 yaitu sebesar 0%. Tidak adanya penurunan nilai *TPH* karena karakteristik fisik dari tanah tercemar hidrokarbon yang cenderung menggumpal mengakibatkan tanah dan pencemar tidak homogen sehingga ketika diuji nilai *TPH* kontrol hari ke-3 lebih besar dibandingkan nilai *TPH* hari ke-0. Tingkat penurunan *TPH* kontrol masih 0% hingga hari ke-6. Ini mengindikasikan walaupun ada pengadukan dan

penyiraman pada tanah tercemar hidrokarbon, reaksi awal yang terjadi yaitu tanah akan menggumpal.

Semua tanah dengan pemberian pupuk hijau mulai mengalami laju penurunan nilai *TPH* paling besar pada hari ke-24 dan laju penurunan nilai *TPH* paling kecil pada hari ke-3. Hal ini dikarenakan pada hari ke-3 tanah masih beradaptasi terhadap perlakuan yang diberikan. Berdasarkan tabel 8, pada hari ke - 0 tanah dengan pemberian pupuk hijau memiliki kadar air yang kurang dari kisaran kadar air optimum. Sedangkan pada hari ke-24, semua tanah dengan pemberian pupuk hijau telah memiliki kondisi yang baik, seperti kadar air yang terpenuhi, *pH* serta suhu tanah yang stabil. Dari parameter pendukung tadi, aktivitas mikroba pendegradasi semakin meningkat sehingga terjadi penurunan nilai *TPH*.



Gambar 9. Penurunan Konsentrasi *TPH* Kontrol dan Pupuk Hijau per 3 hari selama 30 hari (n=3)

Total penurunan *TPH* untuk reaktor kontrol yaitu sebesar 10.186,67 $\mu\text{g/g}$ atau 12% penurunan nilai *TPH* selama 30 hari. Walaupun reaktor kontrol hanya berupa tanah tercemar tanpa penambahan pupuk, nyatanya ada penurunan nilai *TPH* yang terjadi setelah 30 hari penelitian. Hal ini bisa disebabkan karena adanya proses penghancuran awal tanah sehingga ada perubahan fisik dari tanah tercemar menjadi lebih halus. Selain itu, walaupun masih menggumpal pada awal perlakuan, dengan adanya pengadukan dan penyiraman selama 30 hari akan membantu memperbaiki kadar air, homogenitas tanah, dan proses aerasi yang terjadi dalam tanah. Kondisi dari tanah tercemar yang lebih baik akan

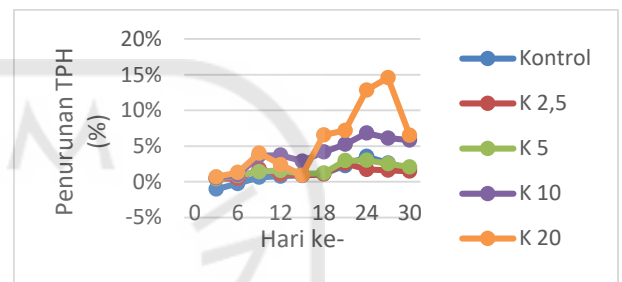
menyebabkan peningkatan pertumbuhan mikroba *indigenous* sehingga terjadinya penurunan nilai *TPH*.

Untuk reaktor H2,5 total penurunan *TPH* sebesar 18.760 $\mu\text{g/g}$ atau 22% dari total *TPH* awal. Untuk reaktor H5 total penurunan *TPH* sebesar 19.746,67 $\mu\text{g/g}$ atau mengalami penurunan 23% *TPH* selama 30 hari. Untuk reaktor H10 total penurunan kadar *TPH* yaitu sebesar 47.760 $\mu\text{g/g}$ atau mengalami penurunan *TPH* sebesar 47%. Sedangkan untuk reaktor H20, total penurunan *TPH* sebesar 20.666,67 $\mu\text{g/g}$ atau mengalami penurunan *TPH* sebesar 23%.

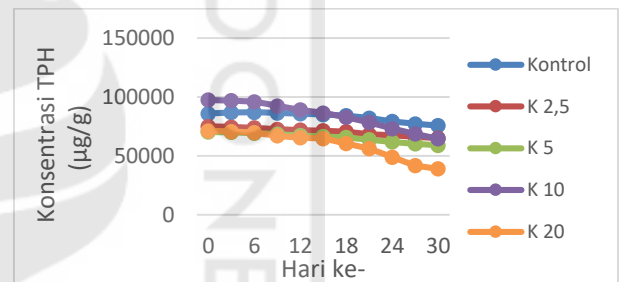
Jika tanah kontrol dibandingkan dengan tanah + pupuk hijau, maka tanah + pupuk hijau lebih baik dalam menurunkan kadar *TPH* dalam tanah. Namun dalam penelitian ini tanah dengan pemberian pupuk hijau 10% lebih baik dalam menurunkan kadar *TPH* pada tanah tercemar. H10 mengalami penurunan *TPH* paling besar dikarenakan H10 memiliki pH, suhu tanah dan kadar yang optimum serta nilai *TPC* paling banyak dibandingkan tanah dengan pemberian pupuk hijau lainnya. H20 yang memiliki persentase pupuk paling besar ternyata mengalami penurunan *TPH* yang tidak jauh berbeda dengan H2,5 dan H5. Dalam penelitian ini pupuk digunakan sebagai sumber nutrisi tambahan bagi bakteri pendegradasi hidrokarbon. Penurunan *TPH* pada H2,5 dan H5 lebih rendah karena persentase pupuk hijau yang lebih sedikit sehingga sumber nutrisi untuk mikroba pendegradasi juga lebih sedikit. Sedangkan untuk H20 dengan persentase jumlah tanah tercemar yang lebih sedikit akan mengurangi sumber energi untuk aktivitas mikroba pendegradasi. Menurut Cookson (1995), Karbon merupakan senyawa organik yang digunakan mikroba sebagai sumber energi untuk respirasi, sehingga mikroba dapat tumbuh dan bereproduksi.

Semua tanah dengan pemberian pupuk kandang memiliki laju penurunan *TPH* paling rendah pada hari ke-3. Sama dengan pupuk hijau, pupuk kandang belum memiliki kadar air yang cukup. Laju penurunan *TPH* paling besar terjadi pada hari ke-24. Hal

ini dikarenakan pada hari ke-24 kadar air, suhu tanah, cuaca dan *pH* sedang stabil sehingga memungkinkan mikroba pendegradasi untuk tumbuh dan berkembang biak dengan baik hingga hari ke 27 sehingga K20 mengalami laju penurunan *TPH* paling tinggi pada hari ke 27 yaitu 15%.



Gambar 10. Tingkat Penurunan *TPH* Kontrol dan Pupuk Kandang per 3 hari selama 30 hari (n=3)



Gambar 11. Penurunan Konsentrasi *TPH* Kontrol dan Pupuk Kandang per 3 hari selama 30 hari (n=3)

Jika dibandingkan dengan tanah kontrol, tanah dengan pemberian pupuk kandang lebih dapat menurunkan *TPH*. Pada K2,5 total penurunan *TPH* yaitu sebesar 9.146,667 $\mu\text{g/g}$ atau mengalami penurunan sebesar 12%. Total penurunan nilai *TPH* pada K5 yaitu sebesar 11.266,67 $\mu\text{g/g}$ atau mengalami penurunan sebesar 16%. Pada K10 total penurunan *TPH* yaitu sebesar 32.853,33 $\mu\text{g/g}$ atau mengalami penurunan sebesar 34%. Total penurunan *TPH* pada K20 sebesar 32.120 $\mu\text{g/g}$ atau mengalami penurunan sebesar 45%. Dapat disimpulkan bahwa dengan pemberian pupuk kandang 20% dari total berat tanah tercemar dapat menurunkan *TPH* dibandingkan dengan persentase pupuk kandang lainnya. Pada pengujian *Total Plate Count*, K20 juga memiliki populasi mikroba yang paling banyak dibandingkan dengan tanah lainnya. Kadar air pada tanah K 20 juga memiliki nilai yang tinggi dibandingkan

dengan tanah lainnya. Dari penjelasan diatas dapat dipastikan bahwa dalam penelitian ini terjadi penurunan kadar *TPH* pada semua tanah yang di perlakuan. Namun, setiap jenis dan banyak pupuk sangat mempengaruhi terjadinya penurunan *TPH*.

f. Logam Berat

Tabel 1. Hasil Pengujian Parameter Logam Berat pada Semua Perlakuan Bioremediasi Tanah Tercemar dengan teknik Composting di PT. X, Yogyakarta

Pengujian	Satuan	Pb										Baku Mutu (mg/L)
		Kontrol	H2,5	K2,5	H5	K5	H10	K10	H20	K20		
Awal	mg/L	2,33	2,73	2,51	2,72	3,15	2,49	2,37	2,15	2,18	5	
Akhir	mg/L	2,08	2,31	2,25	2,23	2,8	1,91	1,9	1,74	1,69		
Pengujian	Satuan	Cd										Baku Mutu (mg/L)
		Kontrol	H2,5	K2,5	H5	K5	H10	K10	H20	K20		
Awal	mg/L	0,13	0,26	0,22	0,12	0,19	0,18	0,14	0,2	0,27	1	
Akhir	mg/L	0,11	0,25	0,2	0,11	0,18	0,17	0,13	0,19	0,26		

Dari hasil pengujian kedua parameter logam berat, Pb dan Cd dibawah baku mutu pada pengujian awal, serta terjadi penurunan konsentrasi Pb dan Cd pada pengujian akhir. Penurunan Pb untuk reaktor Kontrol, H2,5, K2,5 H5, K5, H10, K10, H20 dan K20 yaitu 11%; 15%; 10%; 18%; 11%; 23%; 20%; 19%; 22%. Sementara untuk penurunan Cd untuk reaktor H2,5, K2,5 H5, K5, H10, K10, H20 dan K20 yaitu 4%; 4%; 9%; 8%; 5%; 15%; 7%; 5%; 6%. Menurut Widowati (2008), Timbal (Pb) pad awalnya adalah logam berat yang terbentuk secara alami. Namun, Timbal (Pb) juga bisa berasal dari kegiatan manusia bahkan mampu mencapai jumlah 300 kali lebih banyak dibandingkan Timbal (Pb) alami.

Mikroorganismen berpartisipasi dalam proses mobilisasi dan immobilisasi logam berat dalam tanah dengan menurunkan pH disekitar tanah tersebut. Berdasarkan penelitian Mühlbacova, *et al.* (2005) jumlah mikroorganismen dalam tanah meningkat dan konsentrasi logam berat menurun. Hal ini karena mikroorganismen tanah dapat menyerap Pb dan logam berat lainnya kedalam tubuhnya dan juga dapat berperan dalam memperbaiki sifat fisik, kimia, dan biologi tanah sehingga membuat kondisi yang stabil antara logam berat dan tanah tersebut (Mühlbacova, 2002).

Untuk logam berat, penurunan paling besar terjadi pada perlakuan H10 yang memiliki pH, suhu, dan kadar air yang optimum serta memiliki nilai TPC paling tinggi. H10 juga menurunkan nilai TPH paling banyak dibandingkan dengan perlakuan lainnya. Hal ini sesuai dengan penelitian Mühlbacova, *et al.* (2005) yaitu semakin meningkatnya jumlah mikroba maka konsentrasi logam berat menurun.

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan analisis data dapat diambil beberapa kesimpulan, yaitu:

1. Karakteristik Fisik pada penelitian awal, untuk suhu tanah berkisar antara 29,5 ° hingga 33,9° masih sesuai dengan suhu optimum tanah yaitu 10°-40° (Billingsley dan Scheider, 1990), sedangkan untuk kadar air berkisar antara 1,7% hingga 4,5% sangat kurang dari kadar air optimum yaitu 40% (Cookson,1995). Sedangkan Karakteristik Kimia pada penelitian awal untuk pH berkisar antara 5,1 hingga 8,2 masih berada di pH optimum. Untuk *TPH* dari 7 titik yang diuji pada penelitian awal, 5 di antaranya memiliki nilai *TPH* yang lebih tinggi dari baku mutu sedangkan untuk logam berat Pb dan Cd masih berada di bawah baku mutu (KepMen LH No. 128 Tahun 2003).
2. Karakteristik Fisik setelah di lakukan bioremediasi dengan teknik *composting*, untuk suhu tanah berkisar antara 29,2°-31,5°, mengalami penurunan dan peningkatan suhu tanah yang disebabkan oleh faktor lingkungan. Kadar air tanah setelah 30 hari bioremediasi berkisar antara 32%-45%, yang dipengaruhi oleh penyiraman, cuaca, porositas tanah dan kepadatan tanah. Karakteristik Kimia setelah dilakukan bioremediasi dengan teknik *composting*, untuk pH pada hari terakhir 6,0 hingga 7,4. Untuk Konsentrasi *TPH* (%) pada 7 jenis perlakuan yang berbeda berkisar antara 2%

hingga 3,8%. Menurut KepMen LH No. 128 Tahun 2003 untuk tanah tercemar hidrokarbon dengan konsentrasi >2% proses bioremediasi harus dilanjutkan hingga nilai *TPH* sesuai dengan baku mutu yang ada. Penurunan Pb untuk reaktor Kontrol, H2,5, K2,5 H5, K5, H10, K10, H20 dan K20 yaitu 11%; 15%; 10%; 18%; 11%; 23; 20%; 19%; 22%. Sementara untuk penurunan Cd untuk reaktor H2,5, K2,5 H5, K5, H10, K10, H20 dan K20 yaitu 15%; 4%; 9%; 8%; 5%; 6%; 7%; 5%; 4%. Menurut KepMen LH No. 128 Tahun 2003 untuk tanah tercemar hidrokarbon dengan konsentrasi logam berat dalam hasil akhir pengolahan biologis sesuai dengan baku mutu yang ada.

Saran

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, terdapat beberapa saran dari penulis untuk penelitian selanjutnya yaitu:

1. Penelitian dilakukan dalam jangka waktu lebih panjang sehingga efisiensi maksimum proses dapat diketahui
2. Diperlukan analisis *Gas Chromatography (GC)* yang dilengkapi dengan penyajian nama senyawa (*GS-MS*) yang terkandung dalam sampel yang diujikan sehingga senyawa yang hilang dan muncul dapat terdeteksi.

Daftar Pustaka

1. Barokah, A., Sumarlin, L.O., dan Mujab, A.S. 2011. Penggunaan Biokompos dalam Bioremediasi Lahan Tercemar Limbah Minyak Bumi. Jurnal. Pusat Aplikasi Teknologi Isotop dan Radiasi Badan Tenaga Nuklir Nasional.
2. Cookson, J. T, Jr. 1995. *Bioremediation Engineering Design & Application*. McGraw Hill, Inc. USA.
3. [EPA] Environmental Protection Agency 1996. *A Citizen's guide to bioremediation*. United State. EPA 542-F-96-007
4. Juliani A, Rahman F. 2011. Bioremediasi Lumpur Minyak (*Oil Sludge*) dengan Penambahan Kompos sebagai *Bulking Agent* dan Sumber Nutrien Tambahan. Jurnal Sanis dan Teknologi Lingkungan. Yogyakarta
5. Kementerian Lingkungan Hidup. 2003. Keputusan Menteri Lingkungan Hidup No.128 tentang Tata Cara dan Persyaratan Teknis Pengolahan Limbah Minyak Bumi dan Tanah Terkontaminasi oleh Minyak Bumi secara Biologis. Jakarta: Kementerian Lingkungan Hidup.
6. Mawardi, Ikhwanuddin dan Sudaryono. 2008. J. Hidrosfir Indonesia Vol. 3 (1): 41-49. Jakarta.
7. Mühlbacova, G. 2002. *The availability of DTPA extracted heavy metals during laboratory incubation of contaminated soil with glucose amendments*. Research Institute of Corp Production. Prague-Ruzyně, Czech Republic.
8. Munawar, dkk.. 2007. Bioremediasi Tumpahan Minyak dengan Metode Biostimulasi Nutrien Organik di Lingkungan Pantai Surabaya Timur. Berk. Penel Hayati: (91-96).
9. Munawar, Ali. 2012. Tinjauan Proses Bioremediasi Melalui Pengujian Tanah Termar Minyak. UPN PRESS: Surabaya.
10. Nghia. N. K. 2007. *Degradation of Aged Creosote and Diesel Contaminated Soils by Phytoremediation or Biostimulation (Nutrients)*. Master Thesis in Soil Science, 20 credits. Department of Soil Science Division of soil chemistry and soil. Swedia.
11. Nugroho, A. (2006). Bioremediasi Hidrokarbon Minyak Bumi. Graha Ilmu. Yogyakarta.
12. Nugroho, A. (2006). Bioremediasi *Sludge* Minyak Bumi dalam Skala Mikroskopis: Simulasi Sederhana Sebagai Kajian Awal Bioremediasi *Land Treatment*. Makara Teknologi, Vol. 10, No.2, November 2006:82-89.
13. Santosa I. 1986. Stasiun Meteorologi Pertanian dan Cara Pengelolaan Data Iklim. Bogor: Institut Pertanian Bogor.
14. Suganda, A., A. Rachman, dan Sutono. 2002. Petunjuk Pengambilan Contoh Tanah. Balitana, Litbang, Departemen Pertanian. Bogor.
15. Wenti, M. J. S. 2012. Biodegradasi *Oil Sludge* dengan Variasi Lama Waktu Inkubasi dan Jenis Konsorium Bakteri Yang Diisolasi Dari Lumpur Pantai Kenjeran. Skripsi. Departemen Biologi Universitas Airlangga.
16. Wesley, L.D. 1977. Mekanika Tanah Cetakan IV. Badan Penerbit Pekerjaan.
17. Widowati, dkk. 2008. Efek Toksik Logam Pencegahan dan Penanggulangan Pencemaran. Penerbit C.V ANDI OFFSET. Yogyakarta.
18. Wulandani, Yaneva Oxi. 2016. Bioremediasi Tanah Tercemar *Crude Oil* dengan Penambahan Kompos. Program Studi Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia. Yogyakarta.