BAB IV
HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

IV.1. Persiapan Penelitian

Persiapan penelitian bertujuan untuk menjamin segala kebutuhan selama penelitian telah siap untuk digunakan. Persiapan penelitan yang dilakukan meliputi persiapan alat dan bahan, persiapan bakteri untuk bioremediasi, dan persiapan reaktor.

IV.1.1. Persiapan Bakteri untuk Bioremediasi

Persiapan bakteri untuk bioremediasi dilalukan melalui isolasi dan pembenihan bakteri yang telah ada di dalam tanah yang telah dikondisikan. Harayama, 1997 dalam Nugroho (2006) menyebutkan bahwa isolasi bakteri pendegredasi minyak bumi dilakukan untuk menemukan bakteri yang dapat berinteraksi secara sinergis dalam suatu konsorsium agar memperoleh hasil degredasi yang sebesar-besarnya, terutama degredasi fraksi hidrokarbon. Hal ini disebabkan tiap jenis bakteri memiliki spesifisitas yang berbeda dalam menggunakan substrat sehingga hanya mampu mendegradasi senyawa hidrokarbon tertentu dalam kisaran yang terbatas.

Isolat bakteri yang digunakan berasal dari tanah yang telah dikondisikan, yaitu tanah di sekitar bengkel yang telah terkontaminasi oleh bahan-bahan yang berasal dari minyak bumi. Isolat yang digunakan dalam penelitian ini berasal dari hasil isolasi penelitian sebelumnya yaitu isolat NCOT 1, NCOT 2, NCOT 3, dan NCOT 4. Isolat tersebut kemudian dipindahkan ke media cair *Nutrient Broth* (*NB*) yang selanjutnya akan disiapkan sebagai inokulum untuk reaktor penelitian yang sebenarnya.

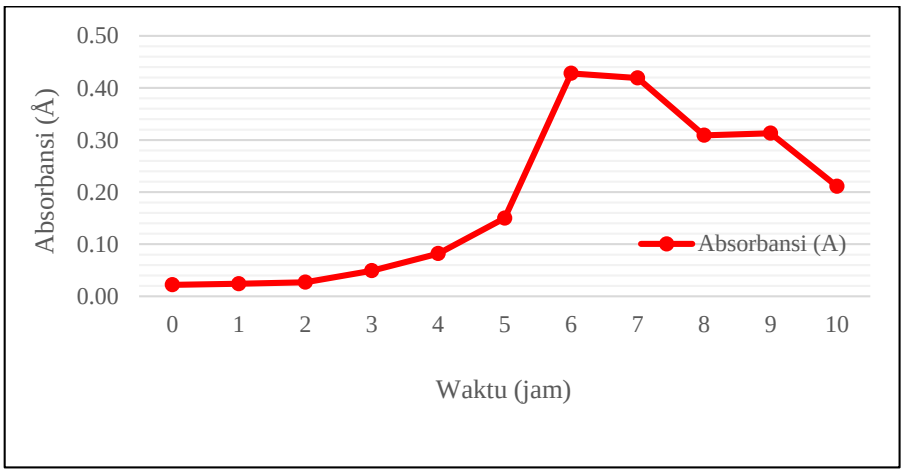
Inokulum dipindahkan ke reaktor penelitian pada saat awal fase stasioner sehingga diharapkan kondisi inokulum sudah stabil dan cukup merata untuk semua reaktor. Awal fase stasioner diketahui melalui pemeriksaan *OD* (*Optical*

Density) untuk mengetahui jumlah sel pada waktu tertentu menggunakan metode turbidimetri. Setya dan Putra (2010) menyebutkan bahwa turbidimetri merupakan metode perhitungan jumlah sel bakteri (berdasarkan kekeruhan) menggunakan spektrofotometer. Bertambahnya jumlah sel bakteri menyebabkan bertambahnya tingkat kekeruhan. Fujimura, et al (1979) menyebutkan bahwa pada uji turbiditas, bakteri menyerap cahaya yang dilewatkan oleh spektrofotometer dan terbaca sebagai nilai absorbansi yang dihasilkan. Hukum Beer menyatakan bahwa absorbansi cahaya pada spektrofotometer sebanding dengan konsentrasi dan ketebalan bahan atau medium. Dengan hukum Beer itu dapat disimpulkan bahwa nilai absorbansi atau *OD* yang terukur berbanding lurus dengan jumlah sel yang ada dalam kultur yang diujikan dalam spektrofotometer.

Tabel 4.1 berikut adalah data hasil pembacaan absorbansi dari spektrofotometer pada panjang gelombang 600 nm.

Tabel 4.1. Hasil Pembacaan Absorbansi Spektrofotometer

No	Waktu (Jam)	Absorbansi (Å)
1	0	0.022
2	1	0.024
3	2	0.027
4	3	0.049
5	4	0.082
6	5	0.152
7	6	0.428
8	7	0.419
9	8	0.309
10	9	0.313
11	10	0.211



Gambar 4.1. Kurva Pembenihan Bakteri

Fase stasioner terjadi pada saat laju pertumbuhan bakteri sama dengan laju kematiannya, sehingga jumlah bakteri keseluruhan bakteri akan tetap. Keseimbangan jumlah keseluruhan bakteri ini terjadi karena adanya pengurangan derajat pembelahan sel. Hal ini disebabkan oleh kadar nutrisi yang berkurang, perubahan pH, akumulasi produk toksik, dan faktor lain yang menggangu pembelahan sel sehingga mengakibatkan penurunan kecepatan pertumbuhan. Fase stasioner ini dilanjutkan dengan fase kematian yang ditandai dengan peningkatan laju kematian yang melampaui laju pertumbuhan, sehingga secara keseluruhan terjadi penurunan populasi bakteri.

Tabel 4.1 menunjukkan fase lag terjadi pada jam ke 0 sampai jam ke 3, fase lag pada jam ke 0 sampai ke 2, fase eksponensial pada jam ke 3 sampai jam ke 4, fase stasioner pada jam ke 6 sampai jam ke 7, sedangkan fase kematian pada jam ke 8 sampai jam ke 10 dan seterusnya. Hasil pengukuran *Optical Density* tersebut kemudian digunakan sebagai waktu acuan dalam memindahkan inokulum ke reaktor penelitian yaitu pada fase stasioner pada jam ke 6.

IV.1.2. Persiapan Reaktor Penelitian

Reaktor penelitian digunakan untuk mensimulasikan tanah terkontaminasi crude oil seperti kondisi aslinya di lingkungan. Reaktor yang dipakai dalam penelitian ini adalah berupa kontainer plastik berdimensi 15 cm x 7 cm x 5 cm.

Kontainer tersebut diisi dengan campuran sampel tanah dengan *crude oil* dengan berat total campuran ± 300 gram. Sebelum dimasukkan ke dalam reaktor, campuran tanah dan *crude oil* telah diayak dengan ayakan berukuran 2x2 mm^2 dan telah dikeringkan dalam oven 105°C sampai beratnya konstan. Proporsi campuran tanah dan *crude oil* ada 2 variasi yaitu 10% dan 25% *crude oil*. Selanjutnya 50 ml inokulum bakteri yang telah disiapkan di tahap sebelumnya ditambahkan pada masing-masing. Masing-masing reaktor penelitian dibuat duplo.

Reaktor kontrol terdiri dari:

1. Reaktor kontrol (K1) yaitu tanah + *crude oil* dengan proporsi (9:1)
2. Reaktor kontrol (K2) yaitu tanah + *crude oil* dengan proporsi (3:1)

Reaktor uji pengaruh penambahan pupuk kompos direncanakan dengan variasi sebagai berikut:

a. Reaktor 1a, yaitu
   Tanah + *crude oil* (9:1) + kompos organik 5% (berat kering)
b. Reaktor 1b
   Tanah + *crude oil* (9:1) + kompos organik 10% (berat kering)
c. Reaktor 2a
   Tanah + *crude oil* (3:1) + kompos organik 5% (berat kering)
d. Reaktor 2b
   Tanah + *crude oil* (3:1) + kompos organik 10% (berat kering)

Adapun masing-masing reaktor secara lebih jelas terdapat dalam tabel berikut.

Tabel 4.2. Variasi Reaktor Penelitian

No	Kode Reaktor	Variasi Reaktor		
		Tanah (berat kering)	***Crude Oil* (berat basah)**	**Kompos (berat kering)**
1	K1	270 gram	30 gram	-
2	K2	225 gram	75 gram	-
3	1a	270 gram	30 gram	15 gram
4	1b	270 gram	30 gram	30 gram
5	2a	225 gram	75 gram	15 gram
6	2b	225 gram	75 gram	30 gram

IV.2. Penelitian Pendahuluan

Penelitian pendahuluan dilakukan untuk mengetahui kondisi fisik, kimia, dan biologi awal dari sampel tanah, *crude oil*, dan kompos sebelum digunakan pada reaktor penelitian.

IV.2.1. Hasil Analisis Sifat Fisik

Analisis sifat fisik dilakukan terhadap sampel tanah yang berasal dari daerah perkebunan di Kecamatan Depok, Sleman sebelum digunakan untuk remediasi. Penelitian dilakukan di Laboratorium Mekanika Tanah Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia. Adapun hasil penelitian sifat fisik tanah terdapat pada tabel 4.3 berikut.

Tabel 4.3. Hasil Penelitian Sifat Fisik Tanah

Parameter Analisis	**Tanah**	**Tanah + *Crude Oil* (9:1)**	**Tanah + *Crude Oil* (3:1)**
Kadar air (w)	31,90 %	24,35 %	21,46 %
Spesific gravity (Sg)	2,67	2,33	2,06
Porositas (n)	50,49 %	41,78 %	30,47 %
Derajat saturasi	0,92	0,74	0,64
Void ratio (e)	1,02	0,72	0,68
Densitas (γ)	1,61 gr/cm^3	1,64 gr/cm^3	1,68 gr/cm^3
Berat volume kering (γ_d)	1,19 gr/cm^3	1,32 gr/cm^3	1,38 gr/cm^3

Sumber: Data Primer (2016)

Tanah biasanya memiliki kadar air berkisar antara 15% sampai 100% (Wesley, 1977). Pada tabel 4.3 di atas dapat dilihat bahwa sampel tanah yang digunakan dalam penelitian memiliki kadar air sebesar 31.90%. Cookson (1995) menyebutkan bahwa untuk bioremediasi *crude oil*, kadar air untuk mengoptimalkan proses degradasi hidrokarbon tidak boleh melebihi 60%, karena jumlah air akan berpengaruh pada aktivitas biodegradasi hidrokarbon di lingkungan tanah oleh mikroba.

Berat jenis atau *specific gravity* adalah perbandingan berat volume butiran padat dengan berat volume air. Tabel 4.3 menunjukkan berat jenis tanah berbanding lurus dengan kadar air tanah (w). Berdasarkan table 4.3, tanah murni memiliki berat jenis sebesar 2,67, tanah campur *crude oil* (9:1) sebesar 2,33, dan

tanah campur *crude oil* (3:1) sebesar 2,06. Hal ini terjadi karena kadar air yang terkandung pada campuran tanah dan *crude oil* (3:1) lebih sedikit dibandingkan dengan kadar air yang terdapat pada tanah murni, sehingga nilai berat jenisnya lebih kecil.

Porositas merupakan karakteristik tanah yang sangat berpengaruh pada proses pertukaran oksigen selama degradasi hidrokarbon berlangsung. Berdasarkan hasil penelitian, porositas tanah yang digunakan pada penelitian adalah 50,49%, sedangkan dari hasil penelitian terhadap sampel dengan proporsi perbandingan tanah dengan *crude oil* 9:1, porositasnya adalah 41,78%. Pada sampel dengan proporsi *crude oil* lebih besar atau 3:1 porositasnya 30,47%. Dengan demikian semakin banyak *crude oil* yang ditambahkan ke dalam tanah, maka semakin turun porositasnya, hal ini dapat berpengaruh pada proses degradasi yang dilakukan oleh mikroba. Mikroba membutuhkan porositas yang cukup tinggi untuk mendapatkan oksigen yang sangat penting selama degradasi hidrokarbon berlangsung.

Void ratio atau angka pori menunjukkan kondisi kerapatan pori tanah. Hasil penelitian sifat fisik menunjukkan bahwa sampel tanah memiliki angka pori sebesar 1,02. Campuran tanah dan *crude oil* dengan perbandingan 9:1 menunjukkan nilai angka pori sebesar 0,72, sedangkan campuran tanah dan *crude oil* dengan perbandingan 3:1 sebesar 0,68. Nilai angka pori tanah yang ditambahkan lebih banyak *crude oil* akan semakin kecil, hal ini dikarenakan semakin rapatnya pori tanah akibat adanya *crude oil* yang mengisi pori-pori tanah. Keberadaan *crude oil* dalam pori tanah akan mempengaruhi gerakan air dan udara di dalam tanah yang akan berdampak kepada kualitas degradasi hidokarbon oleh bakteri.

Berat volume tanah (densitas) ditentukan dalam gr/cm^3 atau sama dengan kg/cm^3. Berat volume tanah dibagi dua yaitu berat volume tanah basah dan berat volume tanah kering. Tanah yang tergolong gembur yaitu tanah yang memiliki konsentrasi berat volume tanah basahnya adalah dari 1,6 sampai 2,0 kg/cm^3 dan 0,6 sampai 2,4 kg/cm^3 untuk konsentrasi berat volume keringnya (Wesley, 1977). Di dalam tabel hasil penelitian tanah murni diperoleh nilai densitas basah sebesar

1,61 gr/cm³ dan densitas kering sebesar 1,19 gr/cm³. Jika densitas tanah dihubungkan dengan proses bioremediasi, maka dapat disimpulkan bahwa sampel tanah termasuk tanah yang gembur dan baik untuk digunakan pada penelitian ini.

IV.2.2. Hasil Analisis Sifat Kimia

Analisis sifat kimia dilakukan terhadap sampel tanah, *crude oil*, dan kompos. Hasil penelitian sifat kimia tanah, *crude oil*, dan kompos terdapat dalam tabel 4.4, 4.5, dan 4.6 berikut.

Tabel 4.4. Hasil Analisis Sifat Kimia Tanah

No	Parameter Analisis	Satuan	Konsentrasi Parameter
1	*Carbon* organik	%	0,79
2	*Nitrogen* total	%	0,10
3	*Phosphor* total	%	0,07
4	Kalium total	%	0,18
5	Kapasitas Tukar Kation (KTK)	Me/100 gr	8,11
6	pH	H_2O (29,7ºC)	5,81

Sumber: Data Primer (2016)

Berdasarkan hasil analisis sifat kimia, kandungan *c*-organik dalam sampel tanah yang digunakan selama penelitian adalah 0,79%. Menurut Forster (1995) dalam Darliana (2009), *c*-organik penting untuk mikroorganisme, tidak hanya sebagai unsur hara tetapi juga sebagai pengkondisi sifat fisik tanah yang mempengaruhi karakteristik agregat dan air tanah.

Sifat kimia tanah lainnya yang dianalisis adalah *n*-total, *p*-total, *k*-total, Kapasitas Tukar Kation (KTK), dan pH. Hasil analisis menunjukkan bahwa kandungan *n*-total dan *p*-total dalam tanah yang digunakan dalam penelitian adalah 0,1 % dan 0,07 %. Unsur *n* dan *p* biasanya terdapat dalam jumlah terbatas di lingkungan. Unsur-unsur ini sangat penting untuk pembentukan dan pembelahan sel. Unsur nitrogen berperan sebagai perangsang pertumbuhan sel,

sedangkan unsur fosfor berperan dalam hal pengangkutan energi hasil metabolisme. Unsur-unsur ini kadangkala harus ditambahkan untuk menunjang proses bioremediasi. Sementara itu Kapasitas Tukar Kation (KTK) yang dimiliki oleh sampel tanah adalah 8,11 me/100 gram. Kapasitas Tukar Kation (KTK) menunjukkan ukuran kemampuan tanah dalam menyerap dan dan mempertukarkan sejumlah kation. Semakin tinggi KTK, semakin banyak kation yang dapat ditariknya. Tinggi rendahnya KTK tanah ditentukan oleh kandungan liat dan bahan organik dalam tanah. Tanah yang memiliki KTK yang tinggi akan menyebabkan lambatnya perubahan pH tanah. Sedangkan berdasarkan sifat keasamannya, tanah masih berada pada kisaran normal dengan pH 5,81.

Tabel 4.5. Hasil Analisis Sifat Kimia *Crude Oil*

No	Parameter Analisis	Satuan	Konsentrasi Parameter
1	*Carbon* organik	%	50,60
2	Kadar air	%	0,0
3	pH	H_2O (29,7^oC)	6,79

Sumber: Data Primer (2016)

Berdasarkan hasil analisis sifat kimia terhadap *crude oil*, konsentrasi *c*-organik yang terkandung sangat tinggi yaitu mencapai 50,60%. Hal ini terjadi karena pada dasarnya *crude oil* merupakan senyawa hidrokarbon yang komposisi utamanya adalah karbon dan hidrogen. Karbon merupakan senyawa organik yang digunakan oleh mikroba heterotrof sebagai sumber energi untuk respirasi. Melalui proses respirasi mikroba dapat tumbuh dan bereproduksi (Cookson, 1995).

Tabel 4.6. Hasil Analisis Sifat Kimia Kompos

No	Parameter Analisis	Satuan	Konsentrasi Parameter
1	*Carbon* organik	%	24,14
2	*Nitrogen* total	%	3,39
3	*Phosphor* total	%	0,19
4	Kalium total	%	1,06
5	Kadar air	%	41,12
6	pH	H_2O (29,7^oC)	5,21

Sumber: Data Primer (2016)

Dalam penelitian ini digunakan kompos sebagai sumber nutrisi tambahan bagi bakteri pendegradasi hidrokarbon. Kompos juga berfungsi sebagai *bulking agent* yang dapat memberikan porositas lebih besar sehingga kebutuhan oksigen yang diperlukan bakteri dapat terpenuhi. Oksigen berperan sebagai akseptor elektron dan untuk menghasilkan energi dari reaksi enzimatis tertentu (Shuher & Surgi, 1992 dalam Munawar dkk, 2007).

Berdasarkan hasil analisis sifat kimia yang dilakukan terhadap kompos menunjukkan bahwa kandungan *c*-organik sebesar 24,14%. Peraturan Menteri Pertanian nomor 28/Permentan/SR.130/5/2009 Tentang Pupuk Organik, Pupuk Hayati, dan Pembenah Tanah menjelaskan bahwa persyaratan teknis minimal pupuk organik antara lain kandungan *c*-organik dalam pupuk minimal 15%. Hal ini berarti kompos yang dipakai dalam penelitian telah memenuhi syarat karena mengandung *c*-organik lebih dari 15%, yaitu 24,14%.

Sifat kimia lain yang dianalisis dalam kompos adalah *n*-total dan *p*-total. Hasil analisis menunjukkan nilai *n*-total dalam kompos adalah sebesar 3,39% sedangkan nilai *p*-total adala 0,19%. *n*-total dan *p*-total dalam kompos merupakan unsur yang berguna untuk mempercepat metabolisme sel bakteri pendegradasi. Cookson, 1996, mengatakan bahwa proses bioremediasi akan berlangsung optimal apabila perbandingan *c* : *n* : *p* sebesar 100 : 10 : 1. Hasil penelitian terhadap sifat kimia memperlihatkan bahwa komposisi *c* : *n* : *p* dalam kompos yang digunakan adalah 24,14 : 3,39 : 0,19. Hasil tersebut cukup mendekati dengan perbandingan

yang sesuai. Dengan kata lain, sampel kompos cocok digunakan dalam penelitian ini.

Sifat kimia lain yaitu kadar air merupakan sifat yang dianalisis untuk menjamin kompos yang digunakan dalam penelitian memiliki kadar air yang sesuai, karena kadar air akan mempengaruhi proses penguraian bahan oleh mikroorganisme. Kadar air yang terkandung dalam kompos adalah 41,12%.

IV.3. Analisis dan Pembahasan Hasil Penelitian

Penelitian dilakukan untuk mengetahui pengaruh penambahan kompos dalam aktivitas bakteri dalam mendegradasi senyawa hidrokarbon dalam tanah di dalam reaktor penelitian. Pengaruh kompos tersebut dilihat berdasarkan hasil pengukuran parameter uji yaitu pH, *Total Petroleum Hydrocarbon*, dan jumah sel bakteri (*Total Plate Count*).

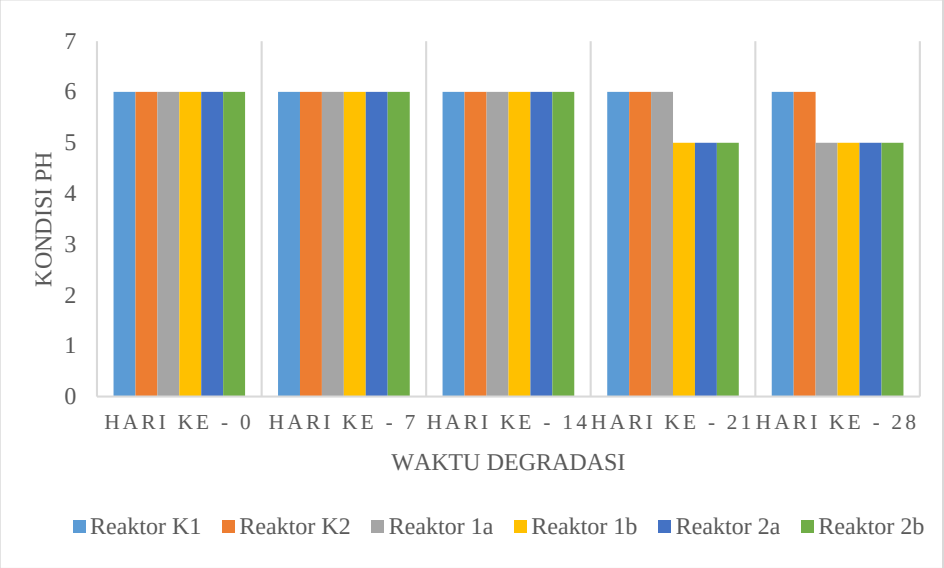
IV.3.1. Analisis dan Pembahasan Hasil Uji Parameter pH

Derajat keasaman (pH) merupakan indikator berlangsungnya proses biokimia. pH sangat berpengaruh terhadap kehidupan mikroorganisme dalam proses biodegradasi hidrokarbon. Sebagian besar biodegradasi senyawa hidrokarbon berlangsung pada pH netral. Berikut ini adalah hasil pengujian parameter pH yang diukur setiap minggu selama 28 hari.

Tabel 4.7. Hasil Pengujian Parameter pH

No	Kode Reaktor	Kondisi pH				
		Hari Ke - 0	Hari Ke - 7	Hari Ke - 14	Hari Ke - 21	Hari Ke - 28
1	K1	6	6	6	6	6
2	K2	6	6	6	6	6
3	1a	6	6	6	6	5
4	1b	6	6	6	5	5
5	2a	6	6	6	5	5
6	2b	6	6	6	5	5

Sumber: Data Primer (2016)



Gambar 4.2. Grafik Hasil Pengujian Parameter pH

Dalam penelitian ini nilai pH pada masing-masing reaktor di hari ke-0 hingga hari ke-14 cenderung bersifat netral yaitu 6. Hal ini sesuai dengan pH optimum karena menurut Nghia (2007) pH optimum untuk biodegradasi berada pada kisaran 6 sampai 8. Selanjutnya pada hari ke-21 terjadi penurunan pH pada reaktor 1b, 2a, dan 2b. Pada hari ke-28 nilai pH pada reaktor 1a turun menjadi 5. Penurunan pH tersebut diduga disebabkan oleh aktivitas mikroba yang membentuk metabolit-metabolit asam guna beradaptasi pada lingkungan yang baru. Kemungkinan lain terjadinya penurunan pH terjadi karena terakumulasinya asam organik (terutama asam glukonat, piruvat, sitrat, dan suksinat) yang terbentuk dari metabolisme organik (Watkinson, 1980 dalam Nugroho, 2006).

IV.3.2. Analisis dan Pembahasan Hasil Uji Parameter *TPH*

Parameter *Total Petroleum Hidrokarbon* (*TPH*) diuji untuk mengetahui penurunan konsentrasi hidrokarbon dalam reaktor. Pengamatan dilakukan selama 28 hari dengan 5 kali pengujian parameter *TPH* yang dilakukan tiap 7 hari. Aerasi dilakukan dengan cara melakukan pengadukan reaktor secara manual dan pemberian air setiap hari. Pengadukan dilakukan untuk menjamin pertukaran oksigen yang dibutuhkan oleh mikroba yang hidup dalam kondisi aerob

berlangsung dengan baik. Tabel 4.8 menunjukkan hasil pengujian konsentrasi *Total Petroleum Hydrocarbon* (*TPH*).

Tabel 4.8. Hasil Pengujian Parameter *Total Petroleum Hydrocarbon* (*TPH*)

No	Kode Reaktor	Konsentrasi *TPH* (%)				
		Hari Ke - 0	Hari Ke - 7	Hari Ke - 14	Hari Ke - 21	Hari Ke - 28
1	K1	8.844	8.588	8.259	7.666	7.201
2	K2	23.137	21.186	21.670	20.192	18.847
3	1a	9.627	9.200	8.404	7.260	6.586
4	1b	8.668	8.146	7.254	6.120	5.390
5	2a	23.779	21.512	19.067	17.869	15.400
6	2b	24.919	23.455	19.091	16.688	14.681

Sumber: Data Primer (2016)

Hasil pengujian menunjukkan kecenderungan penurunan *TPH* pada semua reaktor penelitian. Penurunan tersebut dapat disebabkan oleh beberapa kemungkinan. Kemungkinan pertama, bakteri inokulum juga memiliki kemampuan mendegradasi hidrokarbon walaupun tanpa penambahan kompos. Hal ini dibuktikan dengan terjadinya penurunan *TPH* pada reaktor kontrol K1 dan K2 yang tidak ditambahkan kompos. Kemungkinan kedua, *TPH* turun bukan akibat aktivitas biologis, namun akibat volatilisasi komponen hidrokarbon rantai pendek misalnya. Volatilisasi diperkuat akibat pengadukan harian selama penelitian.

Secara hipotetik, reaktor 1a dan 1b seharusnya menunjukkan penurunan *TPH* yang lebih baik karena mengandung proporsi tanah yang lebih banyak dari *crude oil*, yaitu dengan perbandingan 9:1. Namun ternyata penurunan *TPH* yang lebih baik terjadi pada reaktor 2a dan 2b yang memiliki proporsi *crude oil* lebih banyak, yaitu dengan perbandingan tanah dan *crude oil* 3:1. Diduga bahwa mikroba pendegradasi senyawa hidrokarbon berada dalam kondisi lebih baik di dalam reaktor dengan proporsi *crude oil* yang lebih banyak, sehingga proses degradasi hidokarbon berlangsung lebih baik pula. Menurut Nugroho (2006), penyebab mikroba tidak dapat merombak senyawa hidrokarbon bisa jadi karena mikroba yang ada dalam sampel belum pernah berhubungan dengan minyak bumi dalam proses evolusinya, atau mikroba tidak mempunyai enzim yang diperlukan dalam proses degradasi hidrokarbon. Mikroba tanah dan kompos belum pernah

berhubungan dengan minyak bumi dalam proses evolusinya. Ketika dipaparkan dalam reaktor, mikroba-mikroba tersebut belum mampu mensintesis enzim katabolik yang sesuai untuk mendegradasi hidrokarbon dari *crude oil*, bahkan mungkin mati karena tidak mampu hidup dalam kondisi yang cukup toksik. Sebaliknya, mikroba biakan yang berasal dari tanah yang terkondisikan telah terbiasa hidup dalam lingkungan toksik minyak bumi sehingga akhirnya mampu mensintesis enzim katabolik untuk degradasi hidrokarbon.

Cookson (1995) menjelaskan senyawa hidrokarbon digunakan oleh mikroba sebagai sumber nutrisi dan sumber energi untuk melakukan metabolisme dan perkembangbiakan. Terjadinya proses degradasi senyawa hidrokarbon secara mekanisme berlandaskan pada prinsip bioremediasi dimana kelompok mikroba hidrokarbonklastik melakukan proses perombakan senyawa hidrokarbon dengan enzim pengoksidasi hidrokarbon, sehingga mikroba mampu mendegradasi senyawa hidrokarbon minyak bumi dengan memotong rantai hidrokarbon menjadi lebih pendek. Selain itu, mikroba karbonklastik memiliki kemampuan untuk menempel pada hidrokarbon, kesanggupan memproduksi emulsifier, serta memiliki mekanisme untuk membebaskan diri (*desorption*) dari hidrokarbon. Sintesis enzim pengoksidasi hidrokarbon dikode oleh kromosom mikroba dan plasmid yang termutasi. Mutasi kromoson dan plasmid mempengaruhi proses pemecahan molekul hidrokarbon. Akibat ketergantungannya terhadap senyawa hidrokarbon sebagai sumber energi, mengakibatkan peningkatan populasi mikroba hidrokarbonoklastik terjadi di suatu lingkungan kaya akan kandungan hidrokarbon. Hal tersebut terbukti pada penelitian ini dimana reaktor dengan proporsi *crude oil* yang lebih banyak (2a dan 2b) presentase penurunan kadar *petroleum* hidrokarbonnya lebih tinggi dibandingkan dengan proporsi *crude oil* yang lebih sedikit.

IV.3.3. Analisis dan Pembahasan Hasil Uji Parameter *TPC*

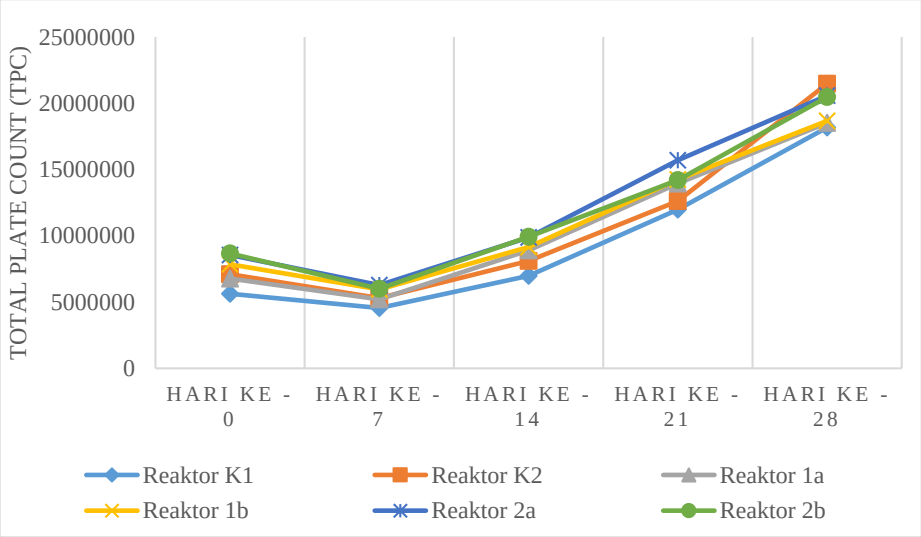
Pengukuran variabel analisis biologi bertujuan untuk mengetahui keberadaan mikroba heterotrof di dalam reaktor penelitian. Secara mikrobiologi, terjadinya degredasi hidrokarbon yang berasal dari *crude oil* dapat diduga dengan

mengetahui pengurangan atau pertambahan jumlah sel mikroba pendegradasi setiap waktu. Untuk itu sel mikroba perlu dikultur dalam media kultur yang mengandung nutrisi sebagai sumber makanan bagi mikroba. Analisis biologi dilakukan dengan metode *pour plate* menggunakan media padat *NA* (*Nutrien Agar*). Hasil uji *TPC* akan digunakan untuk menganalisis hasil uji *pH* dan *TPH* lebih lanjut pada profil hasil penelitian. Hasil analisis biologi pada masing-masing reaktor terdapat dalam tabel 4.9 berikut.

Tabel 4.9. Hasil Pengujian Parameter *Total Plate Count* (*TPC*)

No	Kode Reaktor	Rata-rata TPC (Koloni)				
		Hari Ke - 0	Hari Ke - 7	Hari Ke - 14	Hari Ke - 21	Hari Ke - 28
1	K1	5625000	4550000	6975000	11975000	18175000
2	K2	7100000	5300000	8100000	12625000	21475000
3	1a	6775000	5200000	8900000	13950000	18525000
4	1b	7850000	5950000	9150000	14250000	18675000
5	2a	8550000	6275000	9875000	15700000	20575000
6	2b	8675000	6000000	9925000	14200000	20475000

Sumber: Data Primer (2016)



Gambar 4.3. Grafik *Total Plate Count* (*TPC*)

Aktivitas mikroba dalam reaktor melibatkan 3 kelompok mikroba yaitu kelompok mikroba yang telah ada dalam *crude oil*, kelompok mikroba hasil pembenihan (inokulasi), serta kelompok mikroba yang berasal dari tanah serta kompos. Keterlibatan dari ke 3 kelompok mikroba tersebut memiliki peran yang penting dalam proses pendegradasi hidrokarbon.

Hasil analisis parameter *TPC* menunjukkan bahwa secara keseluruhan jumlah koloni menurun pada hari ke 7. Kemungkinan dalam waktu tersebut bakteri berada dalam fase adaptasi. Bakteri yang tidak dapat menyesuaikan diri terhadap lingkungan baru mengalami kematian. Pada hari-hari berikutnya bakteri yang mampu bertahan berkembangbiak dengan cepat. Jumlah koloni terbanyak pada hari ke-28 terdapat pada reaktor K2, 2a, dan 2b, sedangkan jumlah koloni paling sedikit terdapat dalam reaktor K1, 1a, dan 1b. Reaktor K2, 2a, dan 2b memiliki proporsi tanah dan *crude oil* terbesar yaitu 3:1. Oleh karena itu dapat diduga bahwa koloni yang tumbuh di reaktor tersebut adalah koloni bakteri inokulasi dan koloni bakteri *indigenous* dalam *crude oil*. Bakteri tersebut telah terbiasa pada kondisi toksik dari *crude oil*, sehingga mampu bertahan hidup dan berkembang biak dalam lingkungan reaktor.

Data pada tabel 4.9 juga menunjukkan bahwa penambahan kompos tidak memberikan sumbangan mikroba selama proses degradasi berlangsung. Hal ini ditunjukkan oleh data reaktor K2 dengan tanpa penambahan kompos memberikan nilai *TPC* tertinggi ada hari ke-28. Sementara itu reaktor 2b yang memiliki kandungan kompos lebih banyak justru nilai *TPC*-nya lebih rendah dari reaktor 2a yang kandungan komposnya lebih sedikit. Oleh sebab itu dapat dilihat bahwa penambahan kompos hanya memberi pengaruh pada aktivitas bakteri di dalam lingkungan reaktor.

IV.3.4. Analisis Pengaruh Penambahan Kompos dalam Penurunan *Total Petroleum Hydrocarbon* (*TPH*)

Pengaruh penambahan kompos terhadap pada campuran tanah dan *crude oil* diperlihatkan pada Tabel 4.10 berikut ini.

Tabel 4.10. Pengaruh Penambahan Kompos terhadap Penurunan *Total Petroleum Hydrocarbon* (*TPH*)

No	Kode	Proporsi			Konsentrasi *TPH* (%)		*TPH*
	Reaktor	Tanah	*Crude Oil*	Kompos	Day - 0	Day - 28	Reduction (%)
1	K1	270 gram	30 gram	–	8.844	7.201	18.576
2	K2	225 gram	75 gram	–	23.137	18.847	18.539
3	1a	270 gram	30 gram	15 gram	9.627	6.586	31.587
4	1b	270 gram	30 gram	30 gram	8.668	5.390	37.810
5	2a	225 gram	75 gram	15 gram	23.779	15.400	35.236
6	2b	225 gram	75 gram	30 gram	24.919	14.681	41.087

Sumber: Data Primer (2016)

Persentase penurunan TPH pada masing-masing reaktor kemudian diuji secara statistika untuk melihat signifikasi masing-masing reaktor. Hasil uji signifikasi disajikan pada tabel 4.11 dan 4.12 berikut.

Tabel 4.11. Hasil Uji Signifikasi Penurunan *TPH* pada Reaktor 1a dan 1b terhadap Reaktor K1

No	Reaktor	Hasil Uji Signifikasi
1	K1	18.568^{a}
2	1a	31.629^{b}
3	1b	37.7955^{b}

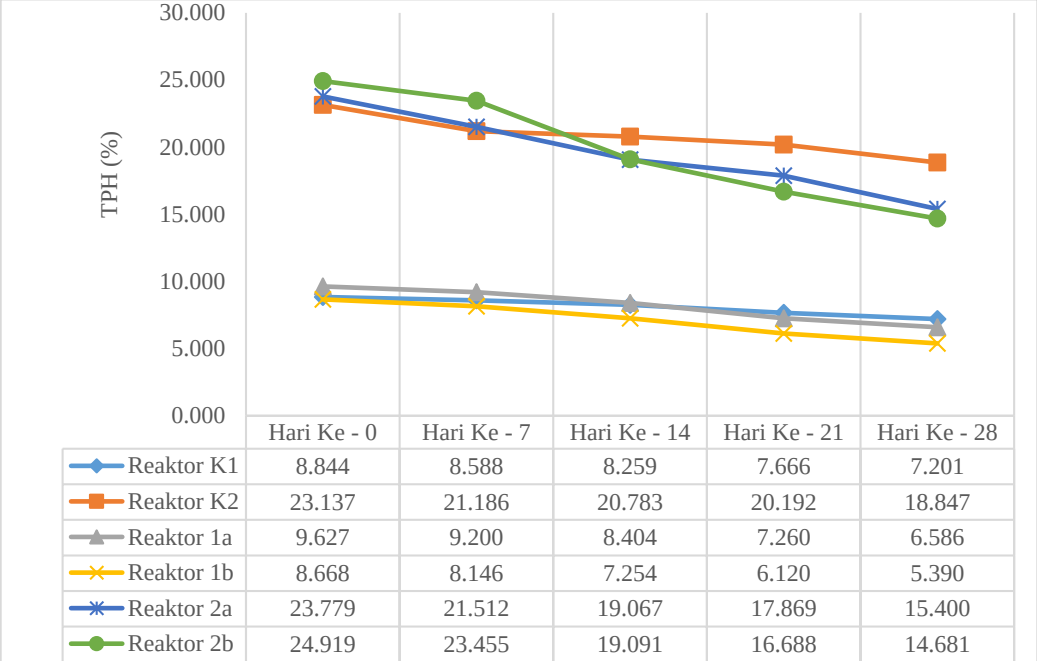
Hasil uji signifikasi pada tabel 4.11 menunjukkan bahwa terdapat perbedaan yang nyata dari penurunan *TPH* pada reaktor 1a dan 1b terhadap reaktor K1, sedangkan penurunan *TPH* antara reaktor 1a dan 1b tidak berbeda nyata.

Tabel 4.12. Hasil Uji Signifikasi Penurunan *TPH* Reaktor 2a dan 2b terhadap Reaktor K2

No	Reaktor	Hasil Uji Signifikasi
1	K2	19.0995^{a}
2	2a	34.9545^{b}
3	2b	40.985^{b}

Hasil uji signifikasi pada tabel 4.12 menunjukkan bahwa terdapat perbedaan yang nyata dari penurunan TPH pada reaktor 2a dan 2b terhadap reaktor K2, sedangkan antara reaktor 2a dan 2b tidak berbeda nyata.

Apabila dibandingkan, penambahan kompos 10% memberikan angka penurunan *TPH* lebih baik dari penambahan kompos 5%, namun secara statistika perbedaannya tidak signifikan. Perbedaan penurunan TPH tersebut disebabkan oleh beberapa faktor. Faktor pertama yaitu karena kompos menyediakan nutrisi tembahan seperti nitrogen, fosfor, dan kalium yang dibutuhkan bakteri pendegradasi dalam melakukan akitvitasnya. Faktor kedua adalah bahwa kompos mampu berperan sebagai *bulking agent* yang dapat meningkatkan ukuran ruang pori sehingga memudahkan proses transfer oksigen yang dibutuhkan mikroba, hal tersebut dibuktikan oleh reaktor dengan proposi tanah : *crude oil* sebesar 3 : 1 dengan penambahan kompos 10% yang memiliki porositas paling kecil tetapi pada pengujian *TPH* di minggu terakhir menunjukkan hasil penurunan *TPH* paling maksimal. *Bulking agent* mampu memberikan porositas tanah lebih besar untuk pertukaran oksigen sehingga kebutuhan oksigen yang diperlukan mikroba dapat terpenuhi. Oksigen dibutuhkan oleh mikroba sebagai akseptor elektron dalam proses oksidasi hidrokarbon untuk menghasilkan energi dan reaksi enzimatis tertentu (Shuher dan Kargi, 1992 dalam Munawar dkk., 2007).



	Hari Ke - 0	Hari Ke - 7	Hari Ke - 14	Hari Ke - 21	Hari Ke - 28
Reaktor K1	8.844	8.588	8.259	7.666	7.201
Reaktor K2	23.137	21.186	20.783	20.192	18.847
Reaktor 1a	9.627	9.200	8.404	7.260	6.586
Reaktor 1b	8.668	8.146	7.254	6.120	5.390
Reaktor 2a	23.779	21.512	19.067	17.869	15.400
Reaktor 2b	24.919	23.455	19.091	16.688	14.681

Gambar 4.4. Grafik Pengaruh Penambahan Kompos terhadap *Total Petroleum Hydrocarbon* (*TPH*)

Berdasarkan grafik pengaruh penambahan kompos terhadap *TPH* di atas, hampir pada seluruh reaktor mengalami penurunan *TPH* yang cukup besar pada hari ke 14. Reaktor 2b dengan perbandingan tanah : *crude oil* yaitu 3 : 1 dengan proporsi kompos 10% menunjukkan penurunan *TPH* yang paling besar, yaitu dari 23,455% menjadi 19,091%. Berdasarkan hasil tersebut dapat dilihat bahwa aktivitas bakteri pendegradasi terbaik pada hari ke 14 setelah penambahan kompos. Diduga waktu tersebut merupakan waktu puncak aktivitas degradasi dalam kurun waktu penelitian 28 hari.

Berdasarkan hasil pengujian *TPH* pada penelitian ini, dapat dikatakan bahwa penambahan kompos cukup berpengaruh terhadap proses degradasi *crude oil* karena mampu menurunkan *TPH* sebesar 41,087 % pada sampel 2b dengan perbandingan proporsi perlakuan tanah dan *crude oil* yaitu 225 gram : 75 gram dengan penambahan kompos 10%. Adapun presentase penurunan *TPH* yang paling rendah ditunjukan pada reaktor K2 dengan presentase penurunan *TPH* sebesar 18,539% dengan perbandingan proporsi perlakuaan tanah dan *crude oil* yaitu 225 gram : 75 gram dan tidak dilakukan penambahan kompos. Perbedaan

persentase penurunan TPH pada reaktor 2b yang ditambahkan kompos 10% dengan reaktor K2 yang tidak ditambahkan kompos menunjukkan angka yang cukup signifikan. Hal tersebut sesuai dengan uji signifikasi pada tabel 4.10.

Penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Setyowati (2008) mengenai Studi Penurunan *Total Petroleum Hydrocarbon* (*TPH*) Pada *Oil Sludge* dengan *Composting Bioremediation* menunjukkan hasil penurunan konsentrasi *TPH* pada *oil sludge* setelah dilakukan bioremediasi dengan menggunakan kompos daun angsana dan glodogan selama 8 minggu adalah 95,76%.

Hasil penelitian yang dilakukan oleh Efsun Dindar, dkk (2015) mengenai biodegradasi oli bekas pada tanah lahan pertanian di Desa Balabancik, Provinsi Bursa, Turkey menggunakan kompos yang berasal dari *sludge* limbah makanan menunjukkan penurunan TPH pada inkubasi 28 °C sebesar 56% pada dosis oli 0,5% dan 74% pada dosis oli 5%.

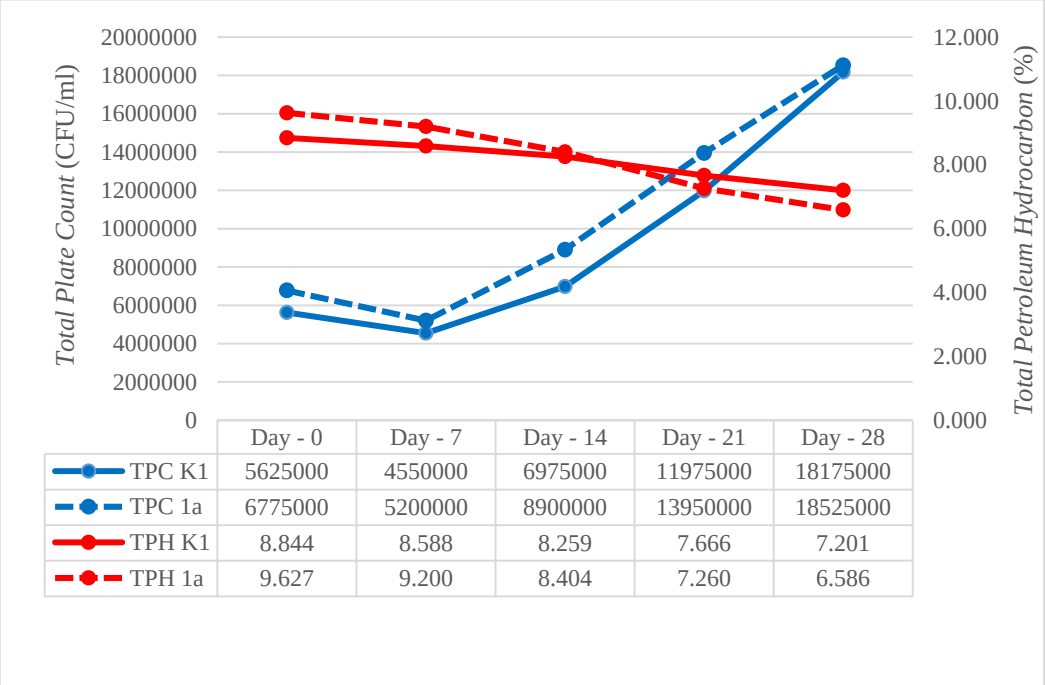
Chorom, dkk (2010) melakukan studi mengenai bioremediasi tanah terkontaminasi *crude oil* dengan memanfaatkan pupuk NPK. Hasil yang diperoleh adalah terjadi penurunan *TPH* sebesar 45-60% seiring dengan penambahan jumlah koloni bakteri heterotrof dalam kurun waktu 10 minggu. Reaktor dengan perlakuan penambahan NPK menunjukkan kenaikan jumlah sel bakteri yang cukup signifikan dibandingkan dengan reaktor kontrol. Degradasi minyak rata-rata seluruh reaktor pada minggu ke 5 lebih tinggi dibandingan pada minggu ke 10.

Banyak penelitian lapangan mengenai bioremediasi dengan penambahan nutrient organik, khususnya yang bersumber dari kompos menunjukkan hasil yang lebih efektif dalam menangani pencemaran dari minyak bumi. Hanya saja dalam prosesnya, kondisi dan komposisi penambahan nutrient yang paling optimal masih belum ditemukan. Kebanyakan mereka menyatakan bahwa jenis dan konsentrasi nutrient yang optimal sangat bervariasi tergantung property minyak dan kondisi lingkungan (Venosa dan Zhu, 2003).

Dalam penelitian ini, penambahan kompos pada bioremediasi tanah tercemar *crude oil* memberikan hasil positif terhadap degradasi senyawa hidrokarbon. Kompos lebih berperan sebagai sumber nutrisi tambahan dan *bulking agent* yang meningkatkan porositas tanah sehingga pertukaran oksigen berlangsung dengan baik. Namun kompos tidak berperan sebagai sumber mikroba pendegradasi. Dalam kurun waktu 28 hari, proses bioremediasi pada reaktor 2b mampu mendegradasi hidrokarbon (*TPH*) hingga 41,087%. Angka tersebut masih cukup rendah dibandingkan dengan hasil penelitian lain yang serupa. Hal ini terjadi diduga karena waktu penelitian yang sangat singkat, sehingga hasil degradasi belum maksimal. Presentasi penurunan *TPH* dapat menjadi lebih tinggi apabila waktu penelitian diperpanjang.

IV.3.5. Profil Hasil Penelitian

Profil hasil penelitian terdiri dari gabungan hasil pengujian parameter T*otal Petroleum Hydrocarbon* (*TPH*) dan *Total Plate Count* (*TPC*) pada masing-masing reaktor penelitian yang diplotkan terhadap reaktor kontrol dalam satu grafik. Selanjutnya dilakukan analisis terhadap masing-masing profil hasil penelitian untuk mengetahui bagaimana pengaruh penambahan kompos terhadap bioremediasi tanah tercemar *crude oil*.

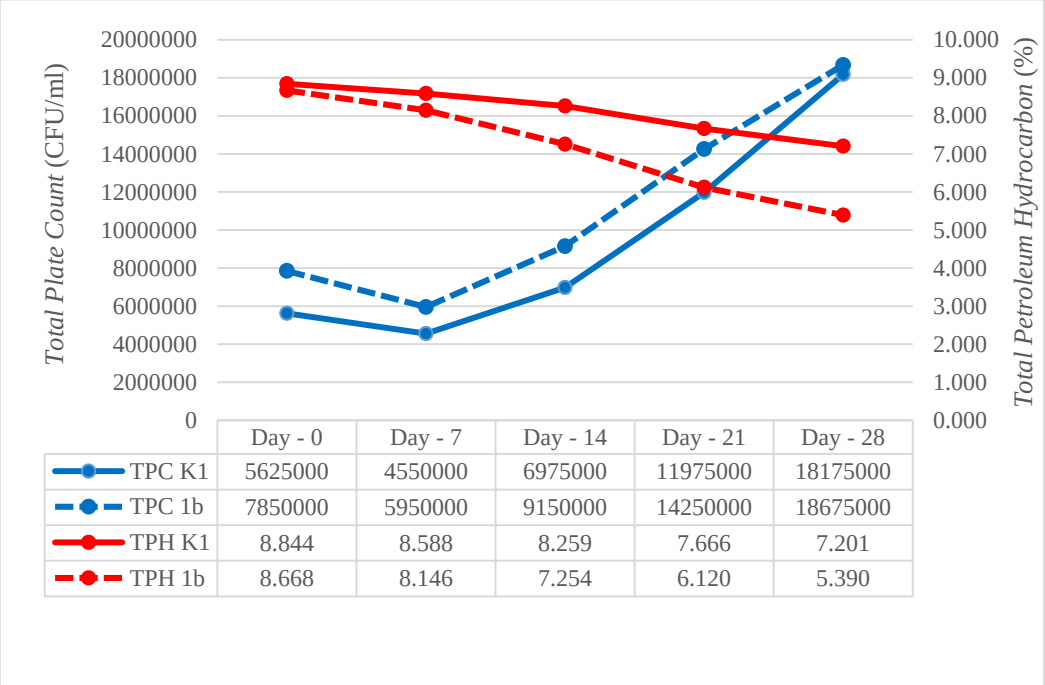


	Day - 0	Day - 7	Day - 14	Day - 21	Day - 28
TPC K1	5625000	4550000	6975000	11975000	18175000
TPC 1a	6775000	5200000	8900000	13950000	18525000
TPH K1	8.844	8.588	8.259	7.666	7.201
TPH 1a	9.627	9.200	8.404	7.260	6.586

Gambar 4.5. Profil Hasil Penelitian Reaktor 1a terhadap K1

Reaktor 1a dan K1 memiliki proporsi tanah : *crude oil* yang sama yaitu 270 gram : 30 gram, tetapi pada reaktor 1a diberi penambahan kompos sebesar 5%. Berdasarkan gambar 4.5, dapat dilihat bahwa pada kedua reaktor terjadi penurunan *TPH* pada setiap waktu pengujian. Hasil lain menunjukkan bahwa pada hari ke 14 hingga hari ke 28 terjadi kenaikan jumlah sel bakteri pada reaktor 1a maupun reaktor K1. Kenaikan jumlah sel bakteri tersebut bersamaan dengan menurunnya *TPH*. Oleh sebab itu, dapat dikatakan bahwa penurunan *TPH* pada kedua reaktor merupakan akibat dari aktivitas bakteri pendegradasi.

Apabila dibandingkan, pada hari terakhir pengujian persentase penurunan *TPH* pada reaktor 1a dengan penambahan kompos 5% lebih besar dibandingkan dengan reaktor K1 dengan persentase penurunan *TPH* sebesar 31,587%. Secara statistika, hasil tersebut tergolong signifikan (tabel 4.9). Hal ini membuktikan bahwa penambahan kompos berpengaruh positif terhadap degradasi hidrokarbon, yaitu dapat mempercepat aktivitas bakteri pendegradasi dalam menurunkan *Total Petroleum Hydocarbon* pada reaktor 1a.

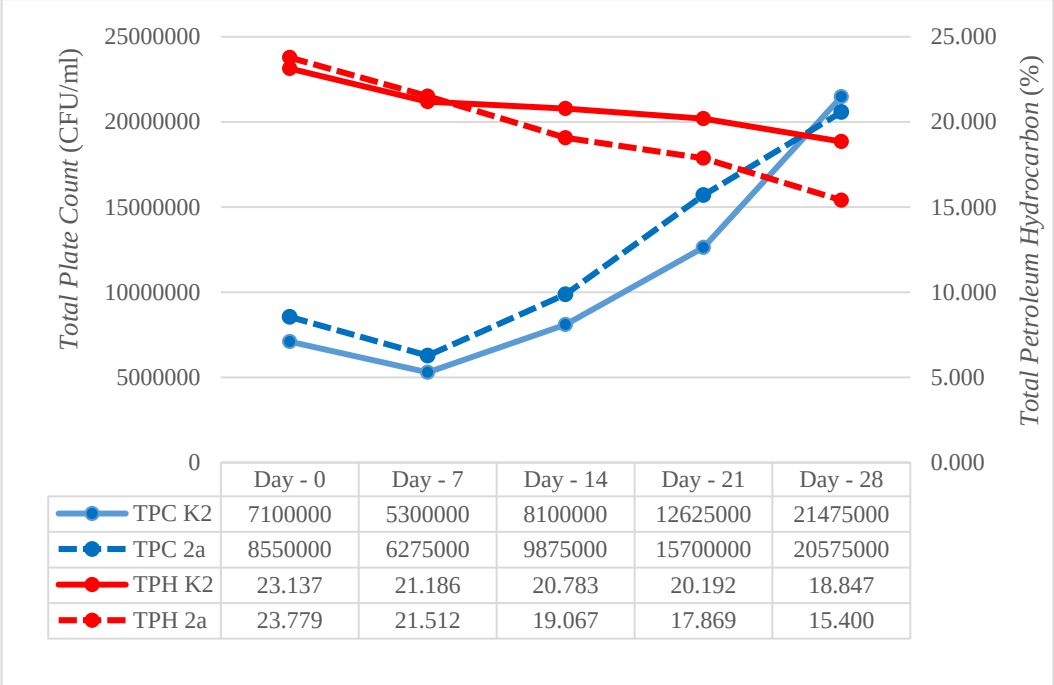


Gambar 4.6. Profil Hasil Penelitian Reaktor 1b terhadap K1

Reaktor 1b dan K1 memiliki proporsi tanah : *crude oil* yang sama yaitu 270 gram : 30 gram, tetapi pada reaktor 1a diberi penambahan kompos sebesar 10%. Berdasarkan gambar 4.6, dapat dilihat bahwa pada kedua reaktor terjadi penurunan *TPH* pada setiap waktu pengujian. Hasil lain menunjukkan bahwa pada hari ke 14 hingga hari ke 28 terjadi kenaikan jumlah sel bakteri pada reaktor 1b maupun reaktor K1. Kenaikan jumlah sel bakteri tersebut bersamaan dengan menurunnya *TPH*. Oleh sebab itu, dapat dikatakan bahwa penurunan *TPH* pada kedua reaktor merupakan akibat dari aktivitas bakteri pendegradasi.

Apabila dibandingkan dengan profil hasil penelitian pada gambar 4.5, pada hari terakhir pengujian penurunan *TPH* pada reaktor 1b dengan penambahan kompos 10% lebih besar dibandingkan dengan reaktor 1a dengan penambahan kompos 5%, walaupun secara statistika perbandingan tersebut tidak berbeda nyata. Persentase penurunan *TPH* pada reaktor 1b adalah 37,810% sedangkan pada reaktor 1a adalah 31,587%. Hal tersebut menunjukkan bahwa penambahan kompos 10% dapat lebih meningkatkan kinerja bakteri dalam mendegradasi *TPH*

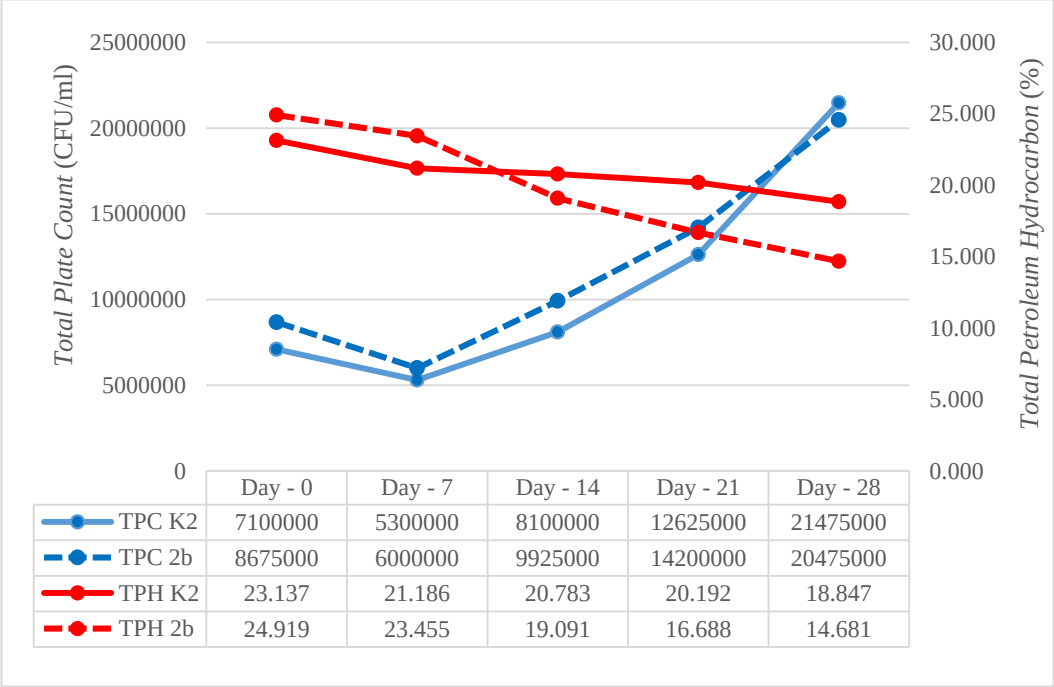
sehingga dalam waktu yang sama persentase penurunan *TPH*-nya menjadi lebih besar.



	Day - 0	Day - 7	Day - 14	Day - 21	Day - 28
TPC K2	7100000	5300000	8100000	12625000	21475000
TPC 2a	8550000	6275000	9875000	15700000	20575000
TPH K2	23.137	21.186	20.783	20.192	18.847
TPH 2a	23.779	21.512	19.067	17.869	15.400

Gambar 4.7. Profil Hasil Penelitian Reaktor 2a terhadap K2

Reaktor 2a dan K2 memiliki proporsi tanah : *crude oil* yang sama yaitu 225 gram : 75 gram, tetapi pada reaktor 2a diberi penambahan kompos sebesar 5%. Berdasarkan gambar 4.7, dapat dilihat bahwa pada kedua reaktor terjadi penurunan *TPH* pada setiap waktu pengujian. Hasil lain menunjukkan bahwa pada hari ke 14 hingga hari ke 28 terjadi kenaikan jumlah sel bakteri pada reaktor 2a maupun reaktor K2. Pada hari ke 14 *TPH* pada reaktor 2a mengalami penurunan yang cukup besar, yaitu dari 21,512% menjadi 19,067%. Pada hari ke 14 pula didapatkan hasil *TPC* pada reaktor 2a lebih banyak dibandingkan dengan reaktor K2. Hal ini menandakan bahwa bakteri pendegradasi mengalami pertumbuhan lebih baik pada reaktor 2a. Oleh sebab itu dapat dikatakan bahwa penambahan kompos berpengaruh pada aktivitas bakteri pendegradasi dalam menurunkan *TPH*.



Gambar 4.8. Profil Hasil Penelitian Reaktor 2b terhadap K2

Berdasarkan gambar 4.8, dapat dilihat bahwa pada hari ke 14 hingga hari ke 28 terjadi kenaikan jumlah sel bakteri pada reaktor 2b maupun reaktor K2, walaupun pada hari ke 7 nilai *TPC* mengalami penurunan. Penurunan *TPC* tersebut diduga akibat bakteri mengalami fase adaptasi dengan lingkungan baru, yaitu lingkungan reaktor. Pada fase ini, bakteri yang tidak bisa beradaptasi mengalami kematian sehingga pada uji *TPC* jumlah sel bakteri menurun. Menurut Fardiaz (1992), panjang pendeknya fase adaptasi sangat ditentukan oleh jumlah sel yang diinokulasikan, kondisi fisiologis dan morfologis yang sesuai, serta media kultivasi yang dibutuhkan. Pada hari ke 14, nilai *TPC* kembali meningkat. Hal ini diduga karena bakteri yang mampu beradaptasi sedang berada pada fase eksponensial, sehingga mengalami pertumbuhan yang cepat. Menurut Suyasa (2007), pertumbuhan bakteri pada fase eksponensial dipengaruhi oleh sifat genetik yang diturunkannya, kadar nutrient dalam media, suhu inkubasi, kondisi pH, dan aerasi. Hal tersebut dibuktikan dengan hasil *TPC* reaktor 2b dengan penambahan kompos 10% lebih besar dibandingkan dengan reaktor K2 yang tidak diberi kompos.

Hasil penelitian juga menunjukkan bahwa terjadi penurunan *TPH* pada kedua reaktor penelitian di setiap minggunya. Penurunan yang paling besar terjadi pada reaktor 2b di hari ke 14, yaitu dari 23,455% menjadi 19,091%. Penurunan *TPH* bersamaan dengan meningkatnya nilai *TPC*. Oleh sebab itu, dapat dikatakan bahwa penurunan *TPH* pada kedua reaktor merupakan akibat dari aktivitas bakteri pendegradasi.

Apabila dibandingkan dengan profil hasil penelitian pada gambar 4.6, di minggu terakhir pengujian penurunan *TPH* pada reaktor 2b yang diberi kompos dengan proporsi yang sama dengan reaktor 1b, yaitu 10% mengalami penurunan *TPH* lebih besar. Persentase penurunan *TPH* pada reaktor 2b mencapai 41,087%. Hal ini diduga karena dua kemungkinan. Kemungkinan pertama yaitu karena bakteri pendegradasi berada dalam kondisi lebih baik pada reaktor 2b dengan proporsi *crude oil* lebih banyak. Karbon di dalam *crude oil* digunakan oleh bakteri sebagai sumber energi untuk respirasi. Melalui respirasi, bakteri dapat tumbuh dan bereproduksi. Kemungkinan kedua yaitu adanya aktivitas dari bakteri *crude oil* yang membantu menurunkan *TPH*. Bakteri yang ada di dalam *crude oil* diduga memiliki kesamaan sifat dengan bakteri inokulasi yang dimasukkan ke dalam reaktor. Lasari (2010) menyatakan bahwa bakteri yang mampu mendegradasi senyawa hidrokarbon minyak bumi disebut dengan bakteri hidrokarbonoklastik. Dalam penelitian ini, bakteri inokulasi yang dimasukkan ke dalam reaktor merupakan bakteri yang dikultur dari tanah yang telah dikondisikan, yaitu tanah yang berada di sekitar bengkel yang merupakan tanah yang telah terkontaminasi oleh bahan-bahan yang berasal dari minyak bumi. Zhu, et al (2001) menyatakan bahwa pada lingkungan yang telah terkontaminasi minyak bumi dimungkinkan terdapat bakteri pendegradasi *petroleum hydrocarbon* yang secara alamiah bersaing dan berkonsorsia dengan mikroorganisme lainnya. Hal ini serupa dengan *crude oil* yang diambil dari kilang minyak milik warga lokal. Dimungkinkan terdapat bakteri hidrokarbonoklastik yang secara alami hidup di dalam *crude oil* dan mampu bertahan dalam kondisi lingkungan yang ekstrim. Sehingga ketika *crude oil* dipindahkan ke dalam reaktor penelitian, bakteri *indigenous* yang ada di dalam *crude oil* dapat tetap tumbuh bersama dengan bakteri inokulasi.