

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. PT. X, Yogyakarta

2.1.1. Sejarah Perusahaan

PT. X terletak dibagian timur laut dari barat pusat kota Yogyakarta, dengan alamat Jl. Kusbini No. 1, Yogyakarta. PT. X menempati kompleks tersendiri termasuk perumahan untuk pimpinan dan karyawan. PT. X sudah ada sejak jaman Kolonial Belanda yaitu pada tahun 1914. Pada masa itu, PT. X Yogyakarta disebut dengan *Central Werk Pcaats (CWP)* didirikan oleh perusahaan kereta api swasta milik Belanda yaitu *NIS (Nederland Indische Spoor Weg Maat Schaapy)*. Tugas bengkel *CWP* pada saat itu adalah perbaikan dan pemeliharaan lokomotif, gerbong penumpang, dan gerbong barang.

Pada tahun 1942, *CWP* diambil alih oleh pemerintah Jepang dan perkeretaapian menjadi perusahaan kereta api pemerintah Jepang. Tugas pokok pada pemerintahan Jepang tetap sama yaitu melaksanakan *overhaul* lokomotif, gerbong, dan kereta. Setelah Indonesia merdeka, *CWP* diambil alih oleh pemerintahan Republik Indonesia dan berubah nama menjadi Balai Karya. Fungsinya masih sama yaitu perbaikan dan pemeliharaan lokomotif, kereta api penumpang, dan gerbong barang. Pada tahun 1953, lokomotif *diesel* mulai diperkenalkan di Indonesia sebagai penarik kereta api. Pada tahun 1958 pemerintah menunjuk PT. X Yogyakarta sebagai tempat perbaikan lokomotif. Saat ini, PT. X melakukan perawatan, perbaikan lokomotif, KRD, dan kereta pembangkit. PT. X juga telah mendapatkan sertifikat ISO 9001:2008.

2.1.2. Aktivitas di PT. X, Yogyakarta

Tugas Pokok dari PT. X Yogyakarta yaitu sebagai berikut:

- a. Melaksanakan pemeriksaan berkala dari semua lokomotif *diesel* yang beroperasi di Jawa sesuai dengan buku pedoman pemeliharaan (*Maintenance Instruction Book*) dari lok-lok yang bersangkutan meliputi:
 - Semi Pemeliharaan Akhir (SPA) setiap 2 tahun atau 325.000 km
 - Pemeliharaan Akhir (PA) setiap 4 tahun atau 650.000 km
- b. Melaksanakan pekerjaan perbaikan (PB) dari lok yang mengalami kerusakan yang tidak dapat diperbaiki dilintas (dipo).
- c. Melaksanakan pekerjaan rehabilitas (RH) terhadap loko yang mengalami kecelakaan atau peristiwa luar biasa.
- d. Melaksanakan perbaikan atau pembuatan suku cadang lokomotif yang digunakan untuk pekerjaan di dipo-dipo lokomotif.
- e. Melaksanakan pekerjaan pemeliharaan setelah umur (*Middle Overhaul*) terhadap lokomotif-lokomotif yang telah beroperasi 20 tahun.
- f. Melaksanakan perbaikan dan perawatan lokomotif pembangkit.

Salah satu aktivitas dari perawatan lokomotif pembangkit adalah membersihkan bagian rangka bawah dan mesin *diesel* dari lokomotif. Kedua bagian tersebut memakai jenis oli pelumas yang berbeda dan teknik pencucian yang berbeda. Bagian rangka bawah dari kereta api direndam dengan soda api dan solar kemudian dibilas dengan air biasa. Untuk pencucian mesin *diesel* menggunakan solar kemudian *finishing* dengan air biasa.

2.2. Potensi pencemar di PT. X, Yogyakarta

2.2.1. Logam Berat

Logam berat adalah unsur logam yang mempunyai massa jenis lebih besar dari 5 gr/cm^3 , terletak di sudut kanan bawah system periodik, mempunyai afinitas yang tinggi terhadap unsure S dan biasanya bernomor atom 22 sampai 92 dari periode 4 sampai 7 (Miettinen, 1977). Logam berat merupakan zat pencemar yang berbahaya karena memiliki sifat tidak dapat terdegradasi secara alami dan cenderung terakumulasi dalam air, sedimen dasar perairan, dan tubuh organisme (Harun, dkk., 2008). Dalam kadar rendah, logam berat pada umumnya sudah beracun bagi hewan dan tumbuhan, termasuk manusia. Logam berat yang sering

mencemari habitat ialah Hg, Cr, Cd, As, dan Pb (American Geological Institute, 1976).

Menurut (Darmono, 2006), sifat logam berat sangat unik. Logam berat tidak dapat dihancurkan secara alami dan cenderung terakumulasi dalam rantai makanan melalui proses biomagnifikasi. Pencemaran logam berat ini menimbulkan berbagai permasalahan diantaranya:

1. Berhubungan dengan estetika (perubahan bau, warna, dan rasa air)
2. Berbahaya bagi kehidupan tanaman dan binatang
3. Berbahaya bagi kesehatan manusia
4. Menyebabkan kerusakan pada ekosistem

Logam berat dibagi kedalam dua jenis, yaitu:

1. Logam berat esensial; yakni logam dalam jumlah tertentu yang sangat dibutuhkan oleh organism. Dalam jumlah yang berlebihan, logam tersebut bisa menimbulkan efek toksik. Contohnya adalah Zn, Cu, Fe, Co, Mn, dan lain sebagainya.
2. Logam berat tidak esensial; yakni logam yang keberadaannya masih belum diketahui manfaatnya bahkan bersifat toksik, seperti Hg, Cd, Pb, Cr, dan lain-lain (Widowati, 2008)

2.2.2. Total Petroleum Hydrocarbon (TPH)

Total Petroleum Hydrocarbon (*TPH*) adalah jumlah hidrokarbon minyak bumi yang terukur di dalam suatu media lingkungan. Hidrokarbon minyak bumi (*PHC*–Petroleum Hydrocarbon) adalah berbagai jenis senyawa hidrokarbon yang terdapat dalam minyak bumi. *TPH* didefinisikan juga dengan suatu campuran kimia yang tersusun atas hidrokarbon yang ada di lingkungan. Hidrokarbon minyak bumi umumnya ditemukan pada bahan pencemar lingkungan misalnya bahan bakar transportasi walaupun tidak selalu dikategorikan limbah berbahaya (*Agency for Toxic Substance and Disease Registry, 1999*).

Tabel 2. 1. Sifat-sifat pencemar minyak

Jenis Pencemar	Kelarutan (mb/L)	Tekanan Uap (mmHg)	Titik didih (°C)	Liquid Density (g/cm ³)	Liquid Viscost (cPoise)	Vapor Density (gm ³)
Bensin	131-185	263-675	40-205	0,72- 0,76	0,36- 049	1950
Minyak Tanah			175-325			
Solar	3,2	2,12 - 26,4	200 - 338	0,87 - 0,95	1,15 - 1,97	109
Minyak Pelumas	Tidak Larut	Tidak Menguap	Tidak Menguap	0,84 - 0,96	275	Tidak Menguap

Sumber: (Munawar, 2012)

Agency for Toxic Substance and Disease Registry (1999) juga menyatakan bahwa *TPH* adalah campuran bahan kimia, namun sebagian besarnya berasal dari hidrogen dan karbon, sehingga disebut hidrokarbon. Para ilmuwan membagi *TPH* ke dalam kelompok *petroleum hydrocarbon fractions*. Setiap fraksi mengandung banyak bahan kimia. Beberapa kandungan bahan kimia yang terdapat di *TPH* adalah *hexane, jet fuel, mineral oils, benzene, toluene, xylenes, napHtalane, dan florene*, seperti halnya kandungan produk *petroleum* dan bensin lainnya.

2.3. Bioremediasi dengan Teknik *Composting*

Bioremediasi adalah proses degradasi biologis dari sampah organik pada kondisi terkontrol menjadi suatu bahan yang tidak berbahaya atau konsentrasinya di bawah batas yang ditentukan oleh lembaga berwenang. Sedangkan menurut *United States Environmental Protection Agency*, bioremediasi adalah suatu proses alami untuk membersihkan bahan-bahan kimia berbahaya. Ketika mikroba mendegradasi bahan berbahaya tersebut, akan dihasilkan air dan gas tidak berbahaya seperti CO₂.

Bioremediasi merupakan pengembangan dari bidang bioteknologi lingkungan dengan memanfaatkan proses biologi dalam mengendalikan pencemaran dan cukup menarik. Selain hemat biaya, dapat juga dilakukan secara *in situ* langsung di tempat dan prosesnya alamiah (Hardiani, dkk. 2011:32). Laju degradasi mikroba terhadap logam berat tergantung pada beberapa faktor, yaitu aktivitas mikroba, nutrisi, derajat keasaman dan faktor lingkungan (Hardiani, dkk., 2011:32). Teknologi bioremediasi ada dua jenis, yaitu *ex-situ* dan *in situ*. *Ex-situ* adalah pengelolaan yang meliputi pemindahan secara fisik bahan-bahan yang terkontaminasi ke suatu lokasi untuk penanganan lebih lanjut. Penggunaan bioreaktor, pengolahan lahan (*landfarming*), pengkomposan dan beberapa bentuk perlakuan fase padat lainnya adalah contoh dari teknologi *ex-situ*, sedangkan teknologi *in situ* adalah perlakuan yang langsung diterapkan pada bahan-bahan kontaminan di lokasi tercemar.

Menurut Keputusan Menteri Lingkungan Hidup No. 128 Tahun 2003, pengolahan limbah minyak bumi dapat dilakukan dengan menggunakan metoda biologis sebagai salah satu alternatif teknologi pengolahan yang meliputi:

- a. *Landfarming*;
- b. *Biopile*;
- c. *Composting*;

Composting adalah proses pengolahan limbah dengan menambahkan bahan organik seperti kompos kandang, serpihan kayu, sisa tumbuhan atau serasah daun dengan tujuan untuk meningkatkan porositas dan aktifitas mikroorganisme pengurai (Peraturan Menteri Lingkungan Hidup No. 128, 2003).

Banyak penelitian lapangan mengenai bioremediasi dengan penambahan nutrisi 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 nutrisi yang paling optimal masih belum ditemukan. Kebanyakan mereka menyatakan bahwa jenis dan konsentrasi nutrisi yang optimal sangat bervariasi tergantung properti minyak dan kondisi lingkungan (Venosa dan Zhu, 2003).

Setyowati (2008) melakukan studi mengenai penurunan *Total Petroleum Hydrocarbon (TPH)* pada *oil sludge* dengan *composting bioremediation* menunjukkan besarnya penurunan konsentrasi *TPH* pada *oil sludge* setelah dilakukan bioremediasi dengan menggunakan kompos daun angsana dan glodogan selama 8 minggu adalah sebesar 95,76%. Munawar (2007) yang meneliti pengaruh penambahan nutrisi organik pada bioremediasi tumpahan minyak mentah (*crude oil*) dengan metode biostimulasi di lingkungan Pantai Surabaya Timur. Dalam waktu 30 hari, bioremediasi dengan metode ini telah menurunkan konsentrasi hidrokarbon hingga 88,25%. Hasil penelitian menunjukkan bahwa bahan organik memberikan indikasi yang baik untuk digunakan sebagai sumber nutrisi.

2.4. Bakteri Pendegradasi Hidrokarbon

Bakteri pendegradasi hidrokarbon merupakan bakteri yang dapat memutuskan ikatan karbon yang terdapat dalam senyawa hidrokarbon yang seringkali berbahaya menjadi struktur lain yang ramah lingkungan (Madsen, 2008). Pendegradasi senyawa hidrokarbon oleh bakteri dapat dilakukan dengan dua cara, cara pertama ialah dengan biodegradasi sempurna atau mineralisasi dan cara kedua dengan biodegradasi tidak sempurna (kometabolisme). Mineralisasi meliputi oksidasi dari senyawa hidrokarbon menjadi karbon dioksida dan air yang dapat digunakan untuk pertumbuhan dan reproduksi sel. Masing-masing tahapan dalam proses degradasi dikatalisis oleh enzim spesifik yang disintesis oleh sel (Meier dkk, 2000). Adanya seleksi jenis bakteri dan sistem enzim tertentu disebabkan oleh keberadaan hidrokarbon di alam. Umumnya senyawa hidrokarbon dengan sifat yang dimilikinya dapat di biodegradasi. Menurut Mc. Millen (1998), hidrokarbon yang terkontaminasi dalam lumpur minyak merupakan sumber energi yang baik bagi mikroorganisme pendegradasi. Beberapa karakteristik hidrokarbon yang dapat dikonsumsi oleh mikroorganisme tersebut adalah:

- Hidrokarbon yang non-asphalthene dan non polar
- Kadar salinitasnya rendah, karena proses biodegradasi hidrokarbon akan berjalan lebih cepat pada kondisi non salin.

- Kadar logamnya rendah, karena proses biologis tidak mengubah komponen logam menjadi komponen inorganik, meskipun keberadaan logam sangat stabil di dalam tanah maupun untuk proses pengomposan.

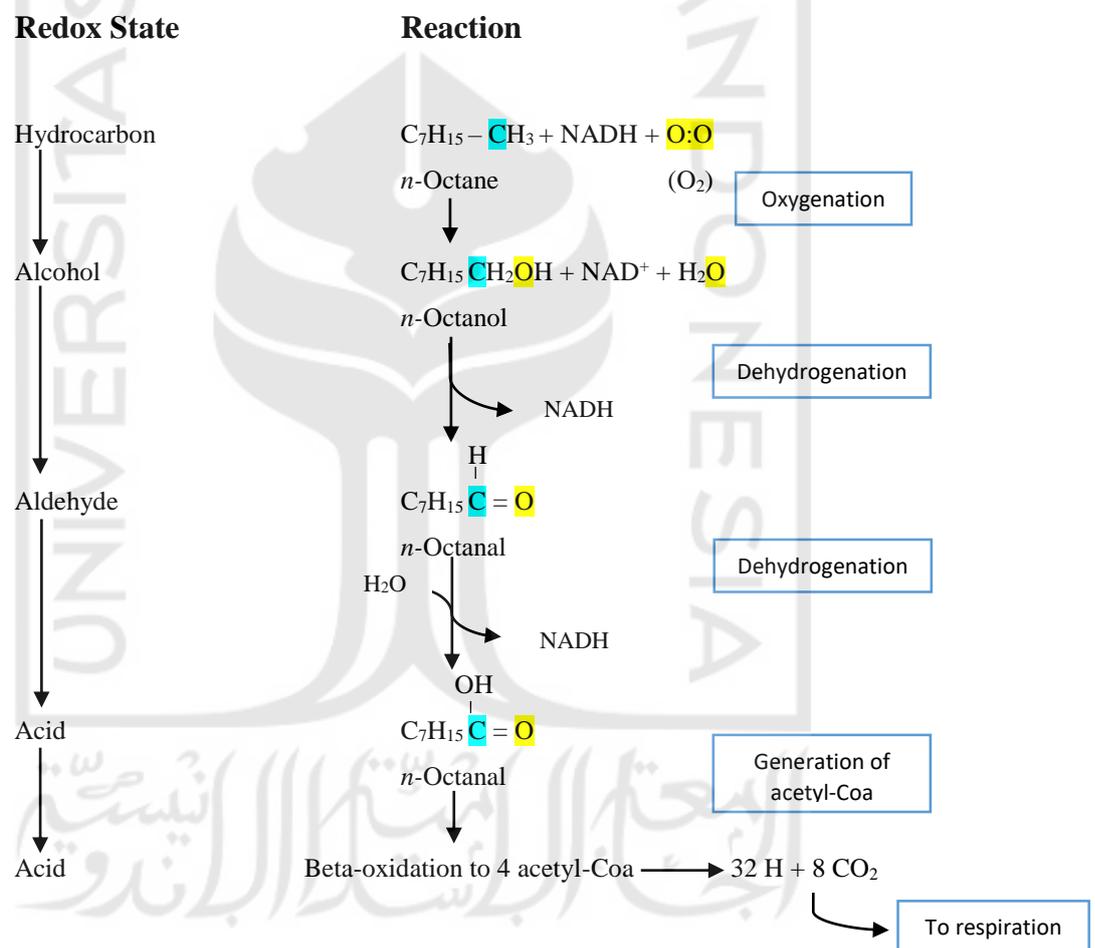
Menurut Rosenberg, dkk (1992), biodegradasi hidrokarbon petroleum membutuhkan mikroorganisme yang dapat menghasilkan enzim pengoksidasi hidrokarbon petroleum, memiliki kemampuan untuk melekat pada hidrokarbon petroleum, dan bisa memproduksi emulsifier. Selain itu dibutuhkan pula air, oksigen, fosfor, dan nitrogen. Menurut Douglas, dkk (1992), kemampuan bakteri mendegradasi hidrokarbon berturut-turut: n-alkana > alkana bercabang > hidrokarbon aromatik > alkana siklik. Rheinheimer (1980), hidrokarbon alifatik rantai pendek seperti etena, propana, dan butana dapat dioksidasi oleh genus bakteri *Pseudomonas*, *Flavobacterium*, dan *Nocardia*.

Senyawa hidrokarbon termasuk metabolit yang tidak umum digunakan untuk pertumbuhan bakteri. Bakteri yang dapat mendegradasi senyawa hidrokarbon pada umumnya memiliki plasmid degradatif, yaitu plasmid yang mengode gen untuk membentuk sistem enzim yang dapat mendegradasi senyawa hidrokarbon. Banyak bakteri tanah, seperti *Pseudomonas spp.* memiliki plasmid degradatif. Salah satu contoh plasmid degradatif adalah plasmid TOL yang mengode sistem enzim untuk mendegradasi toluena (Krieg, 1984).

Bakteri tertentu dapat menggunakan hidrokarbon (alifatik atau aromatik) sebagai elektron donor pada kondisi aerob dengan cara oksidasi. Oksidasi hidrokarbon alifatik jenuh umumnya terjadi pada atom karbon terminal dan dikatalisis oleh enzim monooksigenase dengan oksigen sebagai reaktan. Salah satu molekul oksigen bergabung dengan hidrokarbon yang teroksidasi dan menghasilkan asetil-KoA pada akhir reaksi. Asetil-Koa tersebut selanjutnya akan masuk ke siklus asam sitrat (Madigan dkk, 2012).

Alkana, salah satu anggota kelompok hidrokarbon alifatik, dianggap sebagai jenis hidrokarbon yang siap didegradasi. Hal tersebut disebabkan alkana memiliki struktur yang mirip dengan asam lemak dan parafin tumbuhan, yang tersebar luas di alam, sehingga banyak mikroorganisme di lingkungan yang dapat menggunakan n-alkana sebagai sumber karbon dan energi. Jalur yang umum

digunakan dalam degradasi alkana ialah penggunaan enzim monooksigenase yang secara langsung menggabungkan satu atom oksigen ke satu karbon ujung alkana yang akan menghasilkan alkohol primer. Alternatif jalur lain ialah penggunaan enzim dioksigenase yang menggabungkan dua atom oksigen ke alkana untuk membentuk hidroperoksida. Hasil akhir kedua jalur tersebut adalah asam lemak primer. Asam lemak primer tersebut kemudian masuk ke jalur β -oksidasi, yang akan memecah dua fragmen atom karbon yang berurutan (Meier dkk, 2000).



Gambar 2. 1. Degradasi senyawa hidrokarbon alifatik dengan enzim monooksigenase (Sumber: Madigan dkk, 2012)

Banyak senyawa hidrokarbon aromatik dapat digunakan sebagai elektron donor pada kondisi aerob oleh mikroorganisme, misalnya bakteri *Pseudomonas*. Metabolisme senyawa hidrokarbon aromatik diawali dengan pembentukan

protocatechuate atau *catechol* atau senyawa lain yang memiliki struktur yang berhubungan. *Protocatechuate* atau *catechol* kemudian didegradasi lebih jauh menjadi senyawa yang dapat masuk ke dalam siklus asam sitrat (Madigan, dkk, 2003).

Polyaromatic hydrocarbon (PAH) merupakan hidrokarbon aromatik yang terdapat di lingkungan baik secara baik maupun sebagai hasil dari kegiatan manusia. *Polyaromatic hydrocarbon* (PAH) yang memiliki berat molekul tinggi sebagai akibat kegiatan manusia dapat mencapai konsentrasi beracun yang akan menurunkan kualitas lingkungan dan memengaruhi kesehatan manusia, karena bersifat sitotoksik, mutagenik, dan karsinogenik bagi jaringan tubuh (Churchill dkk, 1999).

Sifat kimia *polyaromatic hydrocarbon* (PAH) tergantung pada jumlah dan pola sambungan cincin aromatik. Pertambahan ukuran PAH akan menyebabkan pertambahan sifat hidrofobik dan stabilitas elektrokimia, sehingga keberadaannya menetap dan terakumulasi di lingkungan (Kanaly & Harayama, 2000) Tidak semua bakteri dapat memetabolisme *polyaromatic hydrocarbon* (PAH).

2.5. Faktor Yang Mempengaruhi Proses Biodegradasi

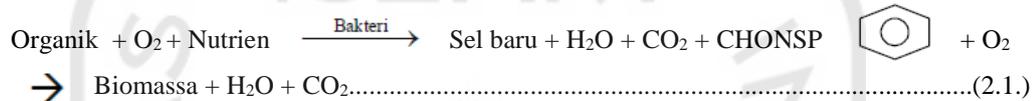
Menurut Munawar (2012), keberhasilan proses bioremediasi ditentukan oleh keberhasilan untuk mengoptimalkan kondisi lingkungan yang sesuai dengan aktivitas mikroba perombak. Kondisi lingkungan yang dimaksud adalah:

1. Oksigen

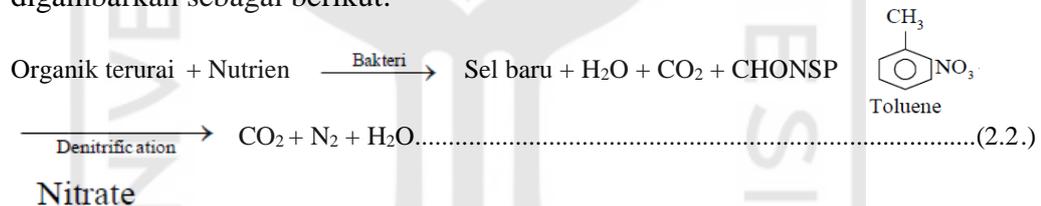
Dalam proses bioremediasi aerobik, oksigen berperan sebagai akseptor elektron yang akan menampung kelebihan elektron dari reaktan lainnya. Oksigen dalam tanah diperoleh dari proses difusi antara udara dengan tanah. Oksigen ini mudah habis terutama jika jumlah mikroorganisme yang memanfaatkannya sangat banyak sedangkan proses difusi tersebut membutuhkan waktu yang lama. Dan laju biodegradasi akan menurun bila kandungan oksigen berkurang (Andriany, 2001). Namun kebutuhan akan oksigen dapat disuplai melalui pengadukan atau pembalikan secara berkala.

Untuk reaksi penguraian secara aerobik, kebutuhan oksigen optimum adalah lebih besar dari 0,2 mg/L DO dengan porositas minimal 10%. Sedangkan untuk reaksi anaerobik kebutuhannya akan oksigen kurang dari 0,2 mg/L dan porositas kurang dari 1% (Indarto, 1999). Pembalikan tersebut dimaksudkan juga untuk menjaga suhu tumpukan tetap ideal dan menciptakan homogenitas campuran.

Secara umum reaksi penguraian mikrobiologis secara aerobik dapat digambarkan melalui reaksi di bawah ini:



Tanpa kehadiran oksigen bebas (O_2) maka reaksi penguraian akan berlangsung secara anaerobik. Degradasi hidrokarbon terjadi akibat kegiatan mikroorganisme mesofil dan termofil. Mikroba memanfaatkan senyawa lain yang mengandung atom oksigen misalnya sulfat (SO_2) dan nitrat (NO_3) untuk menggantikan O_2 sebagai penerima elektron. Reaksi anaerobik tersebut dapat digambarkan sebagai berikut:



2. Kelembaban

Kelembaban yang optimum untuk bioremediasi tanah adalah sekitar 80% kapasitas lapang atau 15% air dari berat (Cookson, 1995). Kelembaban yang tidak mencukupi misalnya kurang dari 40% dapat mengurangi laju bioremediasi. Sedangkan bioremediasi bahan bakar minyak dan sejenisnya, membutuhkan kelembaban sekitar 50%. Kelembaban tanah diatas 70% dapat mengganggu transfer gas untuk oksigen sehingga mengurangi aktivitas aerobik.

3. Nilai pH

Nilai pH lingkungan yang tercemar juga berpengaruh terhadap kemampuan mikroorganisme baik untuk menjalankan fungsi selular, transpor membran sel maupun keseimbangan reaksi yang dilakukan mikroorganisme. 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 (Cookson, 1995).

4. Temperatur

Scheider dan Billingsley (1990) menyebutkan bahwa temperatur yang optimum untuk biodegradasi adalah 10°C – 40 °C.

5. Nutrien

Nutrien dalam tanah harus tersedia dalam jumlah yang sesuai, sehingga dapat mendukung pertumbuhan mikroorganisme pendegradasi. Sumber karbon berasal dari substrat yaitu zat kontaminan, sedangkan nitrogen dan fosfor dapat ditemukan pada tanah dan air tanah. Pada lahan terkontaminasi jumlah keduanya bisa jadi sangat rendah. Apabila konsentrasi nutrien yang tersedia tidak mencukupi maka perlu ditambahkan kompos. Hal ini dilakukan untuk mempertinggi laju metabolisme substrat. Respon yang diberikan oleh masing-masing lahan yang terkontaminasi sangat bervariasi. Menurut Bossert dan Compeau (1995), pada hampir semua kasus, respon yang diberikan terhadap penambahan kompos dapat langsung terjadi. Namun ada pula yang tidak menunjukkan respon sama sekali. Hal ini mungkin disebabkan karena jumlah nutrien yang ada sesungguhnya sudah mencukupi kebutuhan atau adanya fiksasi nitrogen oleh mikroorganisme dan atau karena sifat heterogenitas tanah. Menurut Cookson (1995), penambahan kompos inorganik seringkali menguntungkan bagi bioremediasi fase solid. Penambahan tersebut umumnya dengan perbandingan antara hidrokarbon:nitrogen:fosfor = 100:10:1. Sedangkan Rosenberg, dkk (1992) menyebutkan bahwa dibutuhkan ± 150 mg nitrogen dan 30 mg fosfor untuk mengubah 1 gr hidrokarbon menjadi bahan-bahan sel. Bentuk kimia kompos nitrogen dan fosfor yang ditambahkan juga mempengaruhi biodegradasi kontaminan hidrokarbon. Nutrien fosfor yang umumnya ditambahkan sebagai garam fosfat, dengan mudah membentuk suatu kompleks dengan mineral tanah, membentuk produk yang tidak larut, dan kemudian mengendap.

Penggunaan fosfor dalam bentuk tripolifosfat tidak disukai karena dapat menghasilkan endapan yang tidak diinginkan dan dapat mengganggu struktur tanah (Bossert dan Compeau, 1995). Mc Millen (1998) menyatakan bahwa kebutuhan nitrogen untuk bakteri agar dapat melakukan metabolismenya dengan baik adalah sebesar 50 µg/g tanah. Pada penambahan pupuk nitrogen, bentuk yang sering digunakan adalah Urea, Ammonia, dan/atau nitrat. Menurut Bossert dan Compeau (1995) berdasarkan studi di laboratorium dengan menggunakan bahan inti tanah yang terkontaminasi solar, dimana tiga diantara seluruh jenis pupuk nitrogen tersebut terbukti dapat meningkatkan laju mineralisasi hidrokarbon. Penambahan urea mengakibatkan terjadinya peningkatan laju mineralisasi 35% lebih besar dibandingkan pupuk NH₄NO₃.

2.6. Penelitian Terdahulu

Berikut ini adalah penelitian lainnya mengenai bioremediasi dengan menggunakan kompos.

Tabel 2. 2. Hasil penelitian terdahulu mengenai penurunan *TPH* pada proses bioremediasi dengan teknik *composting*

Nama Peneliti	Judul Penelitian	Hasil Penelitian
Atagana (2008)	<i>Compost Bioremediation of Hydrocarbon Contaminated Soil Inoculated with Organic Manure</i>	Pada reaktor kontrol, terjadi penurunan <i>TPH</i> sebesar 17%. Sedangkan pada reaktor yang diberi perlakuan <i>composting</i> , kadar <i>TPH</i> menurun sebanyak 99% dengan proses inkubasi 19 bulan.
Ester (2003)	Pengaruh <i>pH</i> Awal Tanah pada Proses Pemulihan Tanah Terkontaminasi Minyak Bumi dengan Teknik Bioremediasi	Setelah 120 hari, efisiensi penurunan <i>TPH</i> dalam kisaran 75-85% dengan <i>pH</i> tanah 6 serta penambahan

	Menggunakan Konsorsium Bakteri dan Jamur <i>Sporotrichum pulverulentum</i> dengan <i>Chicken Manure</i> sebagai Sumber Nutrien.	<i>chicken manure</i> dan kompos sebanyak 1%
Holifah (2018)	Analisa Penambahan Kotoran Kambing dan Kuda pada Proses Bioremediasi <i>Oil Sludge</i> di Pertambangan Desa Wonocolo	Hasil penelitian diperoleh bahwa penggunaan kotoran kambing dan kuda pada bioremediasi limbah bumi (<i>oil sludge</i>) mampu menjadi agen bioremediasi yang baik, dengan presentase penurunan kadar <i>TPH</i> tertinggi dengan proporsi limbah dalam reaktor 4:1:0 dengan presentase penurunan 68,83%. Untuk menurunkan 100% kadar <i>TPH</i> pada limbah <i>oil sludge</i> dibutuhkan waktu penelitian lebih dari 5 minggu.
Setyowati (2008)	Studi Penurunan <i>Total Petroleum Hydrocarbon (TPH)</i> pada Oil Sludge dengan <i>Composting Bioremediation</i> .	Besarnya penurunan konsentrasi <i>TPH</i> pada <i>oil sludge</i> setelah dilakukan bioremediasi dengan menggunakan kompos daun angsana dan glodogan selama 8 minggu adalah sebesar 95,76%

Marin, dkk (2006)	<i>Bioremediation by Composting of Heavy Oil Refinery Sludge in Semiarid Conditions</i>	Hasil penelitian diperoleh bahwa terjadi penurunan kadar <i>TPH</i> sebesar 60% dalam jangka waktu 3 bulan. <i>TPH</i> juga menurun pada reaktor tanpa <i>bulking agent</i> yaitu sebesar 32%. Sebanyak 56% hidrokarbon terdegradasi
Mujab (2011)	Penggunaan Biokompos dalam Bioremediasi Lahan Tercemar Limbah Lumpur Minyak Bumi.	Proses degradasi senyawa hidrokarbon yang paling optimum ditunjukkan oleh reaktor C2 dengan perlakuan 100 gram berat kering lumpur minyak bumi, 100 gram berat kering biokompos, 9 gram urea, dan rasio C/N = 5 dengan tingkat degradasi <i>TPH</i> sebesar 91,15%
Juliani (2011)	Bioremediasi Lumpur Minyak (<i>Oil Sludge</i>) dengan Penambahan Kompos sebagai <i>Bulking Agent</i> dan Sumber Nutrien Tambahan	Berdasarkan hasil penelitian, kompos memberikan pengaruh positif terhadap proses remediasi. Efisiensi penurunan <i>TPH</i> tertinggi adalah sebesar 39% selama 21 hari.

2.7. Hipotesis

PT. X Yogyakarta dengan aktivitas perawatan lokomotif berupa pencucian bagian rangka bawah dan mesin diesel menimbulkan potensi pencemaran berupa hidrokarbon dan logam berat di tanah sekitarnya. Berdasarkan Keputusan Menteri Lingkungan Hidup No. 128 Tahun 2003, salah satu pengolahan limbah minyak bumi yaitu bioremediasi dengan teknik *composting*. Penambahan kompos sebagai sumber nutrisi tambahan adalah salah satu faktor untuk mengoptimalkan kondisi lingkungan untuk aktivitas mikroba pendegradasi hidrokarbon. Penelitian ini menggunakan kompos kandang dan kompos hijau dengan proporsi penambahan kompos 2%, 5%, 10%, dan 20% terhadap berat total tanah perlakuan untuk mengetahui efektivitas dari penambahan kompos untuk menurunkan *Total Petroleum Hydrocarbon* dan logam berat. Perkiraan penurunan *Total Petroleum Hydrocarbon* pada tanah tercemar yaitu sebesar 32-99%.