

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Air Limbah

Menurut Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia No. P.68/Menlhk-Setjen/2016 air limbah merupakan air sisa dari suatu usaha dan/atau kegiatan. Air limbah merupakan bahan buangan yang berbentuk cair yang mengandung bahan kimia yang sukar untuk dihilangkan dan berbahaya, sehingga air limbah tersebut harus diolah agar tidak mencemari dan tidak membahayakan kesehatan lingkungan. (Khaliq, 2015)

Keberadaan air limbah yang mengandung minyak pelumas apabila tidak disertai dengan pengelolaan yang tepat, dapat menimbulkan permasalahan jika terpapar ke lingkungan. Minyak yang meresap ke dalam tanah dapat menyebabkan tertutupnya suplai oksigen dan meracuni mikroorganisme tanah sehingga mengakibatkan kematian mikroorganisme tersebut. Tumpahan minyak di lingkungan juga dapat mencemari perairan hingga ke daerah *sub-surface* dan lapisan *aquifer* tanah. (B. Yudono, 2010)

Air limbah pencucian lokomotif di UPT. Industri X memiliki kandungan logam berat, minyak, oli ataupun pelumas dengan debit per harinya mencapai 0,01 m³/detik. (Tawakal, 2018)

2.2. Minyak Nabati, Minyak Mineral dan Lemak

Minyak dan Lemak merupakan salah satu senyawa yang dapat menyebabkan terjadinya pencemaran di suatu perairan sehingga konsentrasinya harus dibatasi. Minyak mempunyai berat jenis lebih kecil dari air sehingga akan membentuk lapisan tipis di permukaan air. Kondisi ini dapat mengurangi konsentrasi oksigen terlarut dalam air karena fiksasi oksigen bebas menjadi terhambat. Minyak yang menutupi permukaan air juga akan menghalangi penetrasi sinar matahari ke dalam air sehingga mengganggu ketidakseimbangan rantai makanan. Minyak dan lemak

merupakan bahan organik bersifat tetap dan sukar diuraikan bakteri (Andreozzi dkk, 2000; Atlas dkk, 1992).

Baku mutu yang mengatur batasan maksimal konsentrasi minyak dan lemak yang diperbolehkan untuk air limbah salah satunya ditetapkan dalam Perda DIY no. 7 tahun 2010. Kisaran konsentrasi yang disyaratkan adalah 5 mg/L. Baku mutu Kepmen LH No.51 tahun 2004 juga telah menetapkan konsentrasi maksimum untuk air permukaan dan laut. Konsentrasi maksimal yang diperbolehkan lebih kecil dari *effluent* air limbah industri yaitu 1 mg/L. Perairan lain seperti air laut pada perairan pelabuhan dipersyaratkan mempunyai konsentrasi minyak dan lemak maksimum sebesar 5 mg/L.

Berdasarkan fakta tersebut, maka ketersediaan metode uji minyak dan lemak yang sesuai dengan batasan konsentrasi tersebut penting untuk dilakukan. Saat ini, terdapat dua metode uji standar yang telah digunakan untuk penentuan konsentrasi minyak dan lemak yaitu metode infra merah (APHA SM: 5520 C) dan metode gravimetri (APHA SM: 5520 B dan SNI 06-6989.10-2011).

2.3. Total Petroleum Hydrocarbon (TPH)

Total Petroleum Hydrocarbon (TPH) adalah istilah yang digunakan untuk menggambarkan ratusan bahan kimia yang secara alami muncul dari *crude oil*. *Crude oil* digunakan untuk membuat produk *petroleum*, yang dapat mengontaminasi lingkungan. Dikarenakan begitu banyaknya bahan kimia yang berbeda-beda didalam *crude oil* dan produk *petroleum* lainnya, tidak dilakukan pengukuran masing-masing kandungan secara terpisah. Oleh karena itu, pengukuran yang dilakukan di lapangan adalah jumlah *Total Petroleum Hydrocarbon (TPH)* (*Agency for Toxic Substances and Disease Registry*, 1999).

Agency for Toxic Substance and Disease Registry (1999) juga menyatakan bahwa TPH adalah campuran bahan kimia, namun sebagian besarnya berasal dari hydrogen dan karbon, sehingga disebut hidrokarbon. Para ilmuwan membagi TPH kedalam kelompok *petroleum hydrocarbon* yang serupa pada tanah atau air. Kelompok ini dinamakan *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

2.4. Bioremediasi

Bioremediasi adalah penggunaan mikroorganisme untuk mereduksi polutan di lingkungan. Ketika bioremediasi terjadi, enzim-enzim yang dihasilkan oleh mikroorganisme memodifikasi polutan beracun dengan mengubah struktur kimia polutan tersebut (biotransformasi). Biotransformasi ini yang mengakibatkan proses biodegradasi yaitu mengubah polutan beracun menjadi metabolit yang tidak berbahaya dan tidak beracun.

2.4.1 Jenis-jenis bioremediasi

1. Biostimulasi

Biostimulasi merupakan metode pemberian nutrisi dan oksigen dalam bentuk cair atau gas yang ditambahkan ke dalam air atau tanah tercemar untuk menyediakan nutrisi bagi pertumbuhan dan aktivitas bakteri yang telah ada di lingkungan tersebut.

2. Bioaugmentasi

Bioaugmentasi merupakan penambahan mikroorganisme yang mampu mendegradasi polutan ke dalam air atau tanah yang tercemar. Metode ini yang paling sering diterapkan untuk mendegradasi kontaminan di suatu lingkungan. Namun, metode ini memiliki beberapa kekurangan yaitu sulit mengontrol kondisi lingkungan yang tercemar supaya mikroorganisme mampu bekerja dengan optimal. Pada dasarnya mekanisme yang dimasukkan ke dalam lingkungan tercemar akan sulit beradaptasi.

3. Bioremediasi Intrinsik

Bioremediasi ini terjadi secara alami di lingkungan air atau tanah yang tercemar. Dengan kata lain, sudah tersedia nutrisi untuk mendukung aktivitas mikroorganisme begitu pula keberadaan mikroorganisme itu sendiri secara alami (Brooker, 2008).

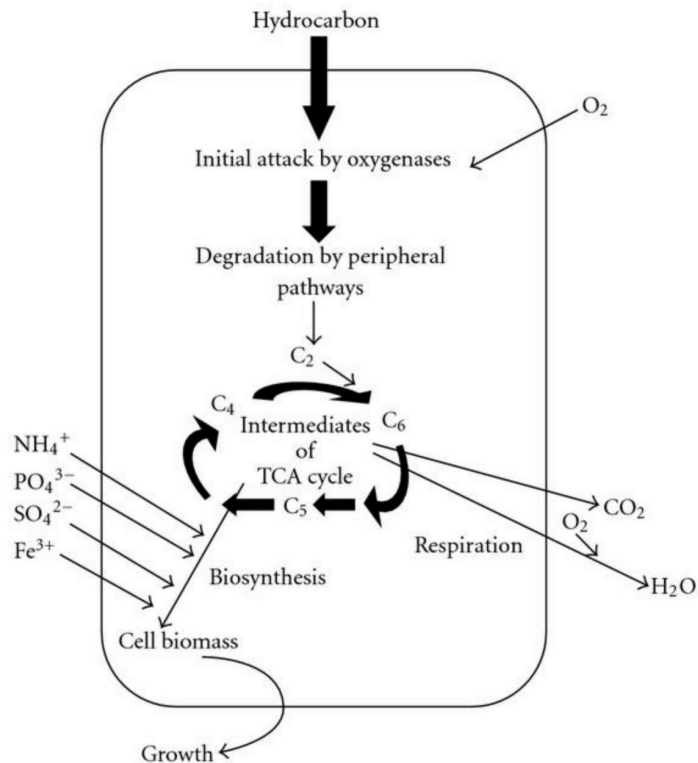
2.4.2 Mekanisme bioremediasi

Strain atau jenis mikroba rekombinan yang diciptakan di laboratorium lebih efisien dalam mereduksi polutan. Mikroorganisme rekombinan yang diciptakan dan pertama kali dipatenkan adalah bakteri pemakan minyak. Bakteri ini mampu mengoksidasi senyawa hidrokarbon yang umumnya ditemukan pada minyak bumi. Bakteri tersebut tumbuh lebih cepat bila dibandingkan dengan bakteri jenis lain yang alami atau yang rekombinan. Akan tetapi, penemuan tersebut belum sukses dikomersialkan karena strain bakteri rekombinan ini hanya mampu mengurai kontaminan berbahaya secara terbatas. Strain inipun belum mampu mendegradasi komponen-komponen molekular yang susah hilang di lingkungan (Brooker, 2008).

Di sekitar akar rumput vetiver terdapat bakteri yang dapat menguraikan minyak, bakteri tersebut menghasilkan enzim alkane hydroxylase yang memecah ikatan karbon (C) menjadi senyawa sederhana yang tidak berbahaya dan melarutkannya ke dalam air. Setelah larut dalam air, kemudian diserap oleh akar rumput vetiver. (Rehman, et al., 2018). Selain itu, hidrokarbon yang didegradasi oleh bakteri dengan beberapa enzim yang dimiliki akan menghasilkan CO₂ dan H₂O serta energi, sebaliknya tumbuhan akan memanfaatkan CO₂ dan H₂O serta energi ini untuk melakukan proses metabolismenya. Tanaman vetiver dalam hal ini akan mengeluarkan eksudat akar yang bisa dimanfaatkan oleh bakteri untuk melakukan metabolisme yang hasil tersebut akan digunakan untuk meningkatkan aktifitasnya dalam mendegradasi hidrokarbon (Yani, 2012).

Menurut Fritsche dan Hofrichter (2000), peran sel bakteri dalam pendegradasian hidrokarbon adalah proses oksidatif dimana aktivasinya merupakan penggabungan oksigen pada sistem enzimatik yang dikataliskan oleh oksigenase dan peroksidase. Proses degradasi merubah polutan organik satu per satu ataupun menengahi sistem metabolisme perantara tengah, sebagai contoh siklus asam-trikarboksilik. Biosintesis oleh sel bakteri terjadi karena adanya metabolit seperti asetil-CoA, asam lemak, piruvat, dsb. Gula juga

dibutuhkan dalam beberapa proses biosintesis dan pertumbuhan yang disintesis oleh glukoneogenesis. Secara sederhana dapat dilihat pada **Gambar 2.1** berikut:



Gambar 2.1. Degradasi Hidrokarbon oleh Mikroorganisme Secara Aerobik

2.4.3 Faktor yang Mempengaruhi Bioremediasi

1. pH

Pada tanah biasanya pH rendah atau cenderung asam, namun ada juga yang mencapai pH 11. Penyesuaian pH dari 4,5 menjadi 7,4 dengan menggunakan kapur dapat meningkatkan penguraian minyak menjadi dua kali lipat. Di lingkungan pH mampu merubah kelarutan, bioavailabilitas, bentuk senyawa kimia polutan, serta unsur makro maupun mikro nutrien. Ketersediaan Ca, Mg, Na, K, NH_4^+ , N dan P akan turun, sedangkan penurunan pH menurunkan ketersediaan NO_3^- dan Cl^- . Jamur dikenal lebih tahan terhadap asam dibandingkan bakteri asam (Brooker, 2008).

Pada pH rendah ketersediaan unsur hara lebih tinggi sehingga aktivitas mikroorganisme juga akan meningkat. Peningkatan aktivitas mikroorganisme ini didukung oleh jumlah bakteri pada variasi tanah pH asam sebagian lebih banyak dibandingkan dengan variasi tanah pH netral (Mrozik, 2003).

Menurut Nghia (2007), pH optimum untuk biodegradasi berkisar 6-8. Penurunan pH merupakan indikasi mikroba beraktivitas, kebanyakan bakteri tumbuh pada pH netral atau sedikit alkali. pH berpengaruh pada fungsi seluler mikroorganisme, transport membran, dan keseimbangan reaksi (Cookson, 1995).

2. Kadar air dan Karakter Geologi

Kadar air dan bentuk porors tanah berpengaruh pada bioremediasi. Nilai agenda air yang diperlukan oleh pertumbuhan mikroba berkisar 0,9-1,0, dengan kadar air berkisar 50-60%. Untuk karakter geologi bioremediasi lebih maksimal pada tanah berporos (Brooker, 2008).

Kadar air dapat mempengaruhi keberadaan kontaminan, transfer gas, tingkat toksisitas kontaminan, perpindahan dan pertumbuhan mikroorganisme. Kadar air yang terlalu rendah dapat membatasi pergerakan mikroba dan menghambat metabolisme sel mikroba. Untuk proses bioremediasi oil sludge dengan bulking agent, kadar air untuk mengoptimalkan proses degradasi hidrokarbon tidak boleh melebihi 60% (Cookson, 1995).

3. Keberadaan nutrisi

Tanah atau lingkungan yang digunakan sebagai lahan bioremediasi, in situ dan ex situ, perlu diperhatikan keberadaan nutrisinya. Nutrisi yang dibutuhkan oleh mikroba seperti karbon (C), nitrogen (N), dan fosfor (P) (Singh, 2006). Selain itu, keberadaan oksigen di lingkungan, suplai oksigen dapat ditempuh dengan proses aerasi. Seringkali untuk meningkatkan aerasi dan mempertahankan kelembaban tanah ditambahkan kompos atau bahan organik sehingga proses degradasi dapat berjalan dengan cepat (Maila, 2004).

2.5. Rumput Vetiver

Rumput vetiver atau tanaman akar wangi merupakan sejenis rumputan yang tumbuh lebat dengan berbagai keistimewaan. Di Indonesia tanaman akar wangi ini kebanyakan menghasilkan aroma harum namun di mancanegara rumput vetiver lebih banyak dimanfaatkan dalam keperluan ekologis dan fitoremediasi seperti mencegah erosi, penahan abrasi pantai dan untuk rehabilitasi lahan teremar

melalui teknologi *vetiver grass technology (VGT)* atau *vetiver system (VS)* yang telah 20 tahun dikembangkan di India (Gunawan dan Kusumaningrum, 2012)

Rumput vetiver merupakan tanaman hiperakumulator yaitu mampu tumbuh di berbagai kondisi lingkungan bahkan yang tercemar logam berat sekalipun. Tanaman ini mudah ditemukan dan biasanya dianggap sebagai tanaman liar atau semak belukar oleh orang awam. Akar wangi dapat menembus tanah setebal 15 cm walaupun pada lapisan yang sangat keras misalnya lereng berbatu. Rumput vetiver memiliki akar yang sangat kuat karena mekanisme akar yang menembus seperti jangkar dan menahan partikel-partikel tanah dengan akar serabutnya (Gunawan dan Kusumaningrum, 2012).



Gambar 2.2. Tanaman Rumput Vetiver

Mekanisme penyerapan dan akumulasi logam berat oleh tanaman dibagi menjadi tiga tahapan, yaitu:

1. Penyerapan oleh akar tanaman

Dalam proses penyerapan polutan oleh tanaman, polutan-polutan tersebut harus berbentuk larutan agar dapat diserap oleh akar tanaman. Senyawa-senyawa yang dapat larut dalam air akan diserap oleh akar bersama dengan air sedangkan senyawa-senyawa yang bersifat hidrofobik diserap oleh permukaan tanaman itu sendiri.

2. Translokasi logam dari akar ke bagian tanaman lain.

Dalam proses ini, setelah polutan menembus lapisan endodermis akar tanaman kemudian diteruskan ke bagian atas tanaman melalui jaringan pengangkut (xilem dan floem) ke bagian tanaman lainnya.

3. Lokalisasi logam pada sel dan jaringan

Dalam proses ini tanaman berusaha untuk mencegah keracunan logam terhadap selnya dengan menimbun logam di dalam organ tertentu seperti pada akar agar tidak menghambat proses metabolisme tanaman (Handayani, dkk, 2013).

Keunggulan dari tanaman akar wangi selain mampu mengurangi pencemaran pada lahan tercemar logam berat dapat pula menurunkan tingkat erosi tanah, toleran terhadap banjir dan kekeringan, pH tanah yang cukup tinggi dan tumbuh pada daerah dataran rendah maupun daerah dataran tinggi. Daun dari tanaman akar wangi ini dapat dijadikan pakan ternak, mulanya menekan rumput liar. Selain itu tanaman akar wangi ini dapat pula menghasilkan kerajinan tangan seperti, atap anyaman, Pembuatan batu bata lumpur dari daun akar wangi, tali dan pengikat, ornamen serta akarnya dapat menghasilkan minyak akar wangi (Pinnars, 2011).

2.6. *Constructed Wetland*

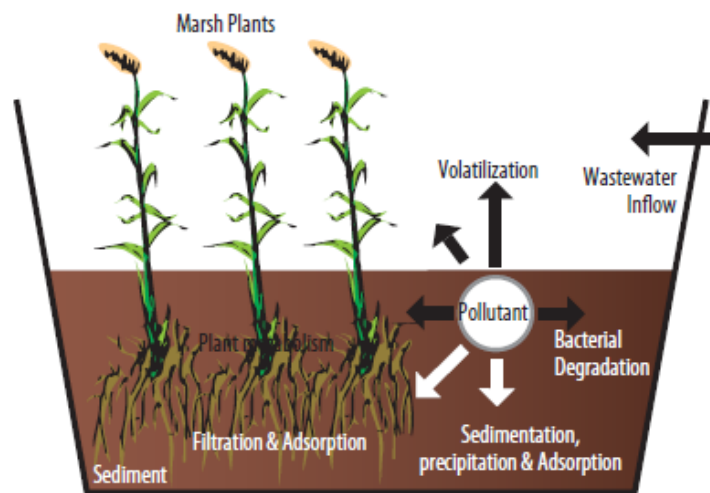
Wetland merupakan ekosistem dinamis dimana di dalamnya terdapat interaksi antara air, tanah dan biota. Interaksi ini memberikan fungsi ekologi yang penting seperti kontrol banjir, habitat makhluk hidup, siklus biogeokimia, dan peningkatan kualitas air dengan mereduksi polusi di yang ada dalam air. (Hansson et al., 2005)

Constructed Wetland adalah lahan basah buatan, dengan fungsi pemurnian air limbah dengan menggunakan fisik, kimia dan metode biologi dalam sebuah *eco-system*, memanfaatkan proses filtrasi, adsorpsi, sedimentasi pertukaran ion dan penguraian mikroba (Tian, 2011)

Constructed Wetland dapat dijadikan alternatif pengolahan lanjutan yang memiliki karakteristik performa yang baik, biaya pengoperasian dan investasi yang minimum serta sesuai untuk di negara berkembang seperti Indonesia (Sembiring dan Muntalif, 2011). Sistem *constructed wetland* mempunyai dua tipe yang telah

banyak dikembangkan untuk pengolahan air limbah yaitu Sistem *Subsurface Flow (SSF)* dan *free water surface (FWS)*. Sistem tersebut dapat memberikan siklus mineral dan menempelkan *niches* untuk populasi mikroba sehingga dapat meningkatkan kualitas air (Biddlestone et al., 1991)

Ilustrasi tentang mekanisme *constructed wetland* digambarkan pada gambar 2.3



Gambar 2.3. Mekanisme Kerja *Constructed Wetland*

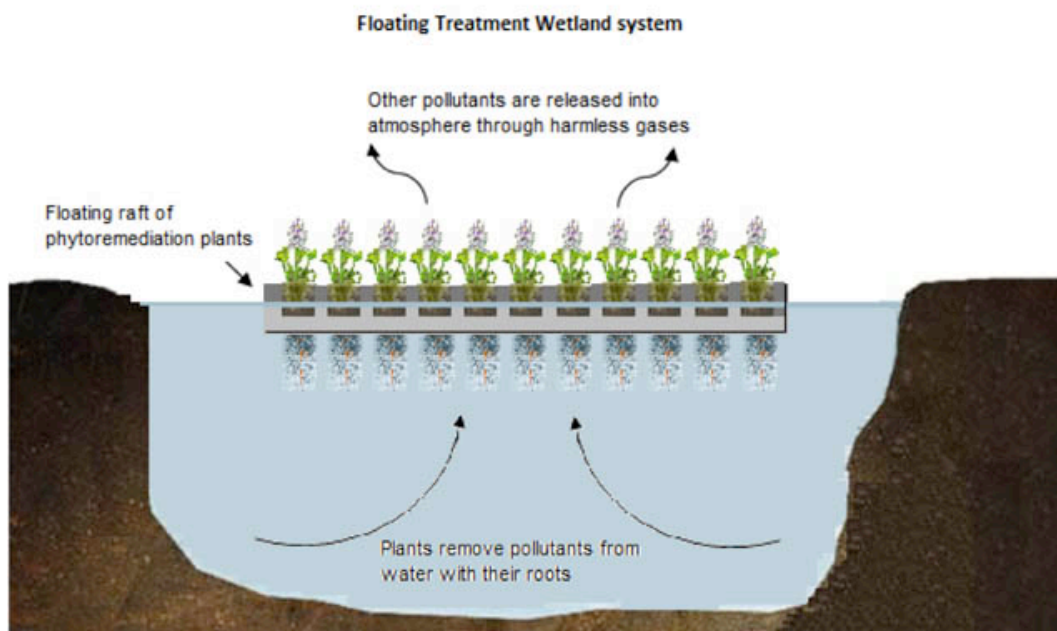
(Sumber: UN-HABITAT, 2008)

2.7. *Floating Treatment Wetland*

Pengolahan *Floating Wetland* merupakan salahsatu jenis *constructed wetland*. Umumnya *constructed wetland* menggunakan media tanam seperti pasir, kerikil dan tanah untuk mendukung perakaran tumbuhan ataupun menggunakan tumbuhan *submergent aquatic* yang dapat mengapung di permukaan air. Sedangkan, *floating wetland* menggunakan *emergent plants* (tanaman air berakar dengan daun muncul ke permukaan) yang ditanam dalam suatu media yang mengapung, sehingga akar dapat menggantung bebas di dalam air sedangkan daun muncul di atas permukaan (Chua, 2012).

Floating wetland dapat dijadikan solusi atas masalah ketersediaan lahan karena pada penerapannya tidak diperlukan lahan yang luas. Pada metode ini tanaman tumbuh pada media yang mengambang di permukaan air, sehingga tanaman tidak terpengaruh oleh sedimen di dalam air. Akar tanaman dapat secara

langsung menyerap polutan di dalam air tersebut. Keuntungan lainnya dari *floating wetland* adalah konsistensi kerja yang tidak terpengaruh naik turunnya permukaan air. Selain itu, nilai estetis dari *floating wetland* yang dapat dijadikan taman yang menyediakan habitat bagi ikan, burung dan area hijau terbuka (Keizer-Vlek et al., 2014).



Gambar 2.4 Ilustrasi *Floating Treatment Wetland*

(Sumber: Stewart, 2008)