

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Mobil Penumpang

Manusia dalam menjalankan aktivitas sehari-hari tidak akan terlepas dari kegiatan transportasi, sehingga sarana transportasi yang memadai dibutuhkan untuk melakukan aktivitas agar dapat berjalan dengan baik. Salah satu jenis alat transportasi adalah mobil. Seiring dengan berkembangnya fungsi mobil sebagai alat transportasi, maka permintaan konsumen terhadap mobil akan semakin tinggi (Saputra, 2013). Kebutuhan akan mobil penumpang sebagai sarana transportasi pun semakin hari semakin meningkat. Peran mobil dalam membantu pekerjaan maupun aktivitas manusia menjadikan masyarakat memiliki mobil penumpang (Hardy, 2014)

Mobil Penumpang adalah kendaraan bermotor angkutan orang yang memiliki tempat duduk maksimal 8 (delapan) orang, termasuk untuk pengemudi atau yang beratnya tidak lebih dari 3.500 (tiga ribu lima ratus) kilogram (Badan Pusat Statistik, 2013). Badan Pusat Statistik (2013) menyebutkan, pada provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta, hingga tahun 2013 jumlah mobil penumpang mencapai 1.224.262 buah. Berdasarkan banyaknya jumlah mobil penumpang tersebut, tentunya akan berdampak pula pada banyaknya limbah yang akan terbuang.

Produk otomotif yang salah satunya merupakan mobil penumpang ini juga menghasilkan limbah B3 (Bahan Berbahaya dan Beracun). Menurut Kementerian Lingkungan Hidup (1999), limbah bahan berbahaya dan beracun

adalah sisa suatu usaha dan/atau kegiatan yang mengandung bahan berbahaya dan/atau beracun yang karena sifat dan/atau konsentrasi dan/atau jumlahnya, baik secara langsung maupun tidak langsung, dapat mencemarkan dan/atau merusakkan lingkungan hidup, kesehatan, kelangsungan hidup manusia serta makhluk hidup lain. Jenis limbah B3 tersebut bersumber dari bahan bakar, oli kendaraan, aki mobil, minyak rem, *car wax*, pembersih karburator dan pembersih kendaraan yang lain (Setiyono, 2005).

B. Minyak Pelumas Bekas

Minyak pelumas bekas merupakan minyak pelumas yang telah digunakan dalam waktu cukup lama akan mengalami perubahan komposisi atau susunan kimia, selain itu juga akan mengalami perubahan sifat fisis, maupun mekanis. Hal ini disebabkan karena pengaruh tekanan dan suhu selama penggunaan dan juga kotoran-kotoran yang masuk ke dalam minyak pelumas itu sendiri. Minyak pelumas bekas yang dikeluarkan dari peralatan biasanya dibuang begitu saja bahkan ada yang dimanfaatkan kembali tanpa melalui proses daur ulang yang benar. Oleh karena itu akan lebih aman dan tepat apabila minyak pelumas bekas dapat diolah kembali (Sani, 2010).

Limbah minyak pelumas mengandung sejumlah zat yang bisa mengotori udara, tanah, dan air. Limbah minyak pelumas kemungkinan mengandung logam, larutan klorin, dan zat-zat pencemar lainnya (Susanto, 2014). Menurut Siswanti (2010), minyak pelumas bekas mengandung kotoran logam-logam dengan kadar yang tinggi, bahan aditif, sisa bahan bakar dan kotoran lain.

Jenis limbah B3 minyak pelumas bekas termasuk dalam limbah B3 yang mudah terbakar dan meledak (P3KNLH, 2008a). Minyak pelumas bekas memiliki tinggi nilai abu, residu karbon, bahan *asphaltenic*, logam, air, dan bahan kotor lainnya yang dihasilkan selama jalannya pelumasan dalam mesin (Nabil, 2010). Limbah minyak pelumas mengandung *Polychlorinated Biphenyls* (PCBs), *Polycyclic Aromatic Hydrocarbons* (PAHs), komponen-komponen tersebut mengandung sifat beracun tinggi saat terlepas ke lingkungan terutama pada perairan (Kankantapong, 2009) dalam (Susanto, 2014).

Jenis limbah B3 yang dihasilkan dari mobil penumpang antara lain limbah padat dan cair. Limbah cair meliputi minyak pelumas bekas, pelarut atau pembersih, H₂SO₄ dari aki bekas (Susanto, 2014). Limbah cair tersebut, termasuk dalam kegiatan otomotif/karoseri yang sebelum pembuangannya ke lingkungan, harus memenuhi baku mutu pembuangan limbah cair yang didasarkan pada Peraturan Gubernur Daerah Istimewa Yogyakarta No 07 Tahun 2010 pada Tabel 1.

Tabel 1. Baku Mutu Limbah Cair untuk Kegiatan Otomotif/Karoseri

Parameter	Satuan	Kadar dan Beban Pencemaran	
		Kadar Max (mg/l)	Beban Pencemaran Max (Kg/Ton)
pH		6.0 – 9.0	
Suhu		± 3°C terhadap suhu udara	
Konduktivitas	µmhos/cm	1.562,5	
BOD	mg/l	50	
COD	mg/l	125	
TSS	mg/l	40	
TDS	mg/l	1000	
Detergen	mg/l	5	
Minyak Bumi	mg/l	2	
Debit/volume limbah maksimum			

Sumber : BLH Prop DIY (2011)

Menurut Subiyanto (1989) dalam Siswanti (2010), minyak pelumas bekas mengandung logam-logam yang dapat menyebabkan terjadinya pencemaran lingkungan. Logam-logam tersebut dapat berasal dari :

1. Aditif minyak pelumas

Agar minyak pelumas dapat memberikan pelayanan yang memuaskan maka ditambahkan aditif, tetapi aditif tersebut mengandung logam Zn, Al serta senyawa lain seperti Ba, Mg, Mo, K, Ca dan Na.

2. Bahan bakar

Bahan bakar yang digunakan dapat mengandung Pb, apabila ditambahkan TEL untuk menaikkan angka oktannya, hasil pembakarannya dapat masuk ke ruang karter dan bercampur dengan minyak pelumas.

3. Debu dan kotoran dari udara

Bahan bakar dapat dibakar bila ada udara. Udara yang masuk ke ruang bakar sudah disaring dengan filter, tetapi kemungkinan kotoran masih dapat masuk ke ruang bakar bersama udara. Biasanya di dalam debu mengandung Al dan Si.

4. Zat pendingin (*coolant*)

Zat pendingin yang dicampurkan dalam air pendingin mengandung aditif anti korosif yang umumnya mengandung Na, K dan Cr. Apabila gasket mesin rusak, air pendingin dapat masuk ke ruang bakar lalu ke karter dan bercampur dengan minyak pelumas.

5. Keausan

Keausan adalah hilangnya zat padat dari induknya akibat adanya permukaan yang bergesekan, sehingga dapat menyebabkan kerusakan. Bagaimanapun tepatnya pemilihan minyak pelumas yang digunakan, komponen mesin tersebut tetap akan mengalami keausan meskipun kecil.

Minyak pelumas bekas mengandung beberapa logam berat, salah satunya yaitu Pb (timbal) (P3KNLH, 2008b). Senyawa Pb sukar larut dalam air tetapi mudah larut dalam minyak atau lemak. Penambahan bahan tersebut untuk mendapatkan tingkat oktan yang lebih tinggi, agar pemakaian bahan bakar bensin lebih ekonomis (Ridhowati, 2013).

Pada proses pembakaran mesin yang menggunakan bahan bakar bensin akan dihasilkan gugus radikal bebas yang dapat menyebabkan letupan pada mesin, sehingga mengakibatkan menurunnya efisiensi mesin. Untuk mengatasi hal tersebut ditambahkan bahan berupa TEL atau TML. Penambahan TEL atau TML dilakukan untuk mengikat radikal bebas yang terbentuk selama proses pembakaran. Bahan tersebut akan bereaksi dengan gugus radikal bebas, dan menghalangi terjadinya reaksi pembentukan PbO. Pb dalam bensin akan bereaksi dengan oksigen dan bahan-bahan pengikat, selanjutnya dikeluarkan melalui sistem pembuangan dalam bentuk partikel (Ridhowati, 2013). Hasil pembakarannya dapat masuk ke ruang karter dan bercampur dengan minyak pelumas.

C. Dampak Limbah Minyak Pelumas Bekas

Minyak pelumas bekas yang dikeluarkan dari peralatan (mesin kendaraan) biasanya dibuang begitu saja (Sani, 2010). Minyak pelumas bekas jika dibuang akan menimbulkan masalah lingkungan yang berbahaya, karena mengandung kotoran logam-logam dengan kadar yang tinggi, bahan aditif, sisa bahan bakar dan kotoran lain (Siswanti, 2010). Minyak pelumas bekas termasuk dalam limbah B3 yang mudah terbakar dan meledak sehingga apabila tidak ditangani pengelolaan dan pembuangannya maka akan membahayakan manusia dan lingkungan (P3KNLH, 2008a).

Oli bekas mengandung komponen logam berat (Cd, Pb, Fe), *polychlorinated biphenyls* (PCBs), dan *polycyclic aromatic hydrocarbons* (PAHs), komponen-komponen ini mengandung bahan beracun saat terlepas ke lingkungan, terutama pada perairan dikarenakan dapat menyebabkan terhalangnya sinar matahari dan oksigen dari atmosfer ke air (Kankkantapong dkk., 2009 dalam Cindiyanti, 2011).

Satu liter limbah minyak pelumas dapat merusak jutaan liter air segar dari sumber air dalam tanah. Apabila limbah minyak pelumas tumpah di tanah akan mempengaruhi air tanah dan akan berbahaya bagi lingkungan. Hal ini dikarenakan limbah minyak pelumas dapat menyebabkan tanah kurus dan kehilangan unsur hara. Sedangkan sifatnya yang tidak dapat larut dalam air juga dapat membahayakan habitat air, selain itu sifatnya mudah terbakar yang merupakan karakteristik dari Bahan Berbahaya dan Beracun (B3) (Susanto, 2014).

Minyak pelumas bekas mengandung beberapa logam berat, salah satunya yaitu Pb (timbal). Kontaminasi logam berat terutama Pb menjadi permasalahan di lingkungan saat ini. Hal ini terjadi karena keberadaannya di alam, akumulasi dari Pb yang sampai pada rantai makanan, serta menyebabkan pencemaran pada tanah, air, dan udara (P3KNLH, 2008b).

Logam berat Pb yang terdapat dalam minyak pelumas bekas merupakan logam Unsur Pb sampai saat ini masih dipandang sebagai bahan pencemar yang dapat menimbulkan pencemaran tanah dan lingkungan (Juhaeti dkk, 2004). Adanya polutan berupa logam Pb dalam jumlah yang berlebihan dapat menyebabkan lingkungan tidak dapat mengadakan pembersihan sendiri (*self purification*).

Jenis limbah yang berpotensi merusak lingkungan hidup adalah limbah yang termasuk dalam Bahan Beracun Berbahaya (B3) yang di dalamnya terdapat logam-logam berat. Pembuangan limbah minyak pelumas yang termasuk limbah B3 ke tanah apabila melebihi kemampuan tanah dalam mencerna limbah akan mengakibatkan pencemaran tanah. Kandungan logam berat di dalam tanah secara alamiah sangat rendah (Widaningrum dkk., 2007). Kandungan beberapa logam berat di tanah yang telah ada secara alami dapat dilihat pada Tabel 2 di bawah ini.

Tabel 2. Kandungan logam berat dalam tanah secara alamiah

Logam	Kandungan dalam tanah (rata-rata $\mu\text{g/g}$)
As (Arsenik)	100
Co (Kobalt)	8
Cu (Tembaga)	20
Pb (Timbal)	10
Zn (Seng)	50

Sumber : Peterson dan Alloway (1979) dalam Darmono (1995)

Apabila limbah minyak pelumas tumpah di tanah, akan mempengaruhi air tanah dan akan berbahaya bagi lingkungan. Keberadaan senyawa hidrokarbon dalam minyak pelumas bekas sebagai polutan dapat merubah struktur dan fungsi tanah sehingga produktivitas tanah menurun dan kehilangan unsur hara (Surtikanti dan Surakusumah, 2004). 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 tanah dan perairan hingga ke daerah *sub-surface* dan lapisan *aquifer* air tanah (Pratiwi dan Hermana, 2014).

D. Lumpur Aktif

Lumpur aktif merupakan salah satu teknik pengolahan limbah secara biologis dengan memanfaatkan mikroorganisme untuk mendegradasi bahan-bahan organik yang terkandung dalam limbah cair menjadi CO_2 , H_2O , NH_4 dan sel biomassa baru (Bitton, 1994). Menurut Sugiharto (1987), lumpur aktif merupakan endapan lumpur yang berasal dari air limbah yang telah mengalami pemberian udara (aerasi) secara teratur, sedangkan Benefield dkk. (1980), mengatakan bahwa lumpur aktif adalah kultur campuran mikroorganisme yang terdiri dari bakteri, protozoa, rotifer dan fungi.

Herlambang dan Wahjono (1999), menyatakan proses lumpur aktif dalam pengolahan air limbah tergantung pada pembentukan flok lumpur aktif yang terbentuk oleh mikroorganisme (terutama bakteri), partikel inorganik, dan polimer exoselular. Selama pengendapan flok, material yang terdispersi, seperti

sel bakteri dan flok kecil, menempel pada permukaan flok. Pembentukan flok lumpur aktif dan penjernihan dengan pengendapan flok akibat agregasi bakteri dan mekanisme adesi. Flokulasi dan sedimentasi flok tergantung pada hidrofobitas internal dan eksternal dari flok dan material ekopolimer dalam flok, dan tegangan permukaan larutan mempengaruhi hidrofobitas lumpur granular dari reaktor lumpur anaerobik.

Kasmidjo (1991), mempertegas pentingnya pembentukan flok dalam proses lumpur aktif dalam campuran cairan dan tipe mikroflora yang ada pada lumpur. Mikroflora pada penanganan limbah secara biologis berasal dari tangki aerasi itu sendiri yang sebelumnya telah mengalami proses aklimatisasi atau penyesuaian diri. Pengujian menunjukkan bahwa mikroflora yang terdapat di lumpur aktif sangat bervariasi dari sistem yang satu dengan sistem yang lainnya. Pada umumnya terdapat spesies bakteri dari genus *Bacillus*, *Enterobacter*, *Pseudomonas*, *Zooglea*, dan *Nitrobacter* yang ada pada lumpur aktif.

Pertumbuhan mikroorganisme akan membentuk gumpalan massa yang dapat dipertahankan dalam suspensi bila unit lumpur aktif diaduk, tetapi bila pengadukan dihentikan maka gumpalan akan mengendap. Aerasi yang digunakan dalam sistem aerobik harus bekerja secara berkelanjutan sehingga mampu mempertahankan sisa konsentrasi oksigen terlarut dalam larutan. Aerasi sendiri adalah penambahan oksigen secara terus menerus dalam proses pengolahan limbah (Jeni dan Rahayu, 1993).

Menurut Herlambang dan Wahjono (1999), proses lumpur aktif dapat dibedakan menjadi dua yaitu proses lumpur aktif konvensional dan modifikasi

proses lumpur aktif konvensional. Proses lumpur aktif konvensional membutuhkan tangki aerasi dan tangki sedimentasi, tangki oksidasi digunakan untuk mengoksidasi aerobik material organik dan tangki sedimentasi digunakan untuk sedimentasi flok mikrobia (lumpur) yang dihasilkan selama fase oksidasi dalam tangki aerasi. Sebagian lumpur dalam tangki penjernih didaur ulang kembali dalam bentuk Lumpur Aktif Balik (LAB) ke dalam tangki aerasi dan sisanya dibuang untuk menjaga nisbah yang tepat antara makanan dan mikroorganisme (Asmadi dan Suharno, 2012).

Analisis lumpur aktif yang perlu dilakukan dalam pengolahan limbah industri meliputi hal-hal sebagai berikut :

a. Volume Lumpur

Analisis volume lumpur dilakukan untuk menguji kecepatan pengendapan lumpur. Sampel limbah dimasukkan ke dalam gelas ukur volume satu liter dan dibiarkan selama 30 menit. Hasil diperoleh dalam satuan ml/liter (Siregar, 2005).

b. *Mixed Liquor Suspended Solid* (MLSS)

Isi di dalam bak aerasi pada proses pengolahan air limbah dengan sistem lumpur aktif disebut sebagai mixed liquor yang merupakan campuran antara air limbah dengan biomassa mikroorganisme serta padatan tersuspensi lainnya. MLSS adalah jumlah total dari padatan tersuspensi yang berupa material organik dan mineral, termasuk di dalamnya adalah mikroorganisme (Asmadi dan Suharno, 2012).

Kandungan lumpur ditentukan dengan metode gravimetri. Sejumlah tertentu cairan lumpur aktif disaring, kemudian residu yang diperoleh dipanaskan selama satu jam pada suhu 105° C dan ditimbang. Hasil diperoleh dalam satuan g/liter (Siregar, 2005). Analisis MLSS bertujuan untuk mengetahui kuantitas padatan tersuspensi yang terkandung pada larutan dalam tangki aerasi, dengan kata lain analisis MLSS digunakan sebagai indikator yang menunjukkan kuantitas mikroorganisme pada sistem lumpur aktif (Sari dkk., 2013).

c. Oksigen

Oksigen dapat disuplai melalui pengadukan tanah secara berkala atau dialirkan melalui pipa-pipa (Bewley, 1996). Oksigen terlarut dibutuhkan oleh semua jasad hidup untuk pernapasan, proses metabolisme atau pertukaran zat yang kemudian menghasilkan energi untuk pertumbuhan dan perkembangbiakan. Oksigen dibutuhkan untuk oksidasi bahan-bahan organik dan anorganik dalam proses aerobik (Salmin, 2000).

E. Bakteri Pendegradasi Hidrokarbon

Banyak cara yang dilakukan untuk mengatasi pencemaran lingkungan akibat limbah minyak bumi, salah satunya adalah dengan melibatkan agen biologis berupa mikroorganisme yang memiliki kemampuan mendegradasi senyawa hidrokarbon yang terdapat di dalam minyak bumi menjadi mineral-mineral yang lebih sederhana (Goenadi dan Isroi, 2003). Teknik pemulihan lahan tercemar oleh minyak bumi yang dilakukan dengan menggunakan kemampuan mikroorganisme dalam mendegradasi struktur hidrokarbon ini

dikenal dengan istilah bioremediasi. Bioremediasi dapat juga didefinisikan sebagai proses pemulihan secara biologi terhadap komponen lingkungan yang tercemar (Baker dan Herson, 1994). Salah satu teknik bioremediasi adalah biodegradasi yaitu proses penguraian oleh aktivitas mikrobia yang mengakibatkan transformasi struktur suatu senyawa sehingga terjadi perubahan integritas molekuler dan toksisitas senyawa tersebut berkurang atau menjadi tidak toksik sama sekali (Nugroho, 2006).

Bakteri yang memiliki kemampuan mendegradasi senyawa hidrokarbon untuk keperluan metabolisme dan perkembangannya disebut bakteri hidrokarbonoklastik atau bakteri petrorilik (Atlas dan Bartha, 1997). Bakteri hidrokarbonoklastik dapat diperoleh dengan cara mengisolasi bakteri dari tempat yang mengandung hidrokarbon. Pemanfaatan bakteri hidrokarbonoklastik yang diisolasi langsung dari habitatnya (bakteri *indigenous*) sebagai agen pendegradasi hidrokarbon dapat mempersingkat waktu bioremediasi. Populasi bakteri pemecah hidrokarbon yang terdapat di suatu ekosistem penerima limbah hidrokarbon penyebarannya sangat luas terutama pada lingkungan yang tercemar minyak (Atlas dan Bartha, 1997). Rezvani (2006), menegaskan penggunaan bakteri pendegradasi hidrokarbon pada lingkungan yang tercemar minyak akan lebih efektif apabila bakteri tersebut berasal dari areal tercemar tersebut.

Kemampuan mikrobia mendegradasi hidrokarbon telah lama diteliti terutama pada era 70-an dan 80-an, pada saat itu lahan pertanian dijadikan tempat pembuangan minyak. Banyak senyawa yang terbentuk hidrokarbon

akhirnya diketahui dapat diuraikan oleh mikrobia. Terdapat sekitar 21 genus bakteri, 10 genus fungi, dan 5 genus yeast yang dapat mendegradasi hidrokarbon (Mason, 1996). Mikrobia seperti bakteri dapat menggunakan hidrokarbon dari minyak mentah dan fraksi-fraksinya baik secara utuh maupun sebagian, dan minyak tersebut dapat diuraikan secara sempurna (Alexander, 1997).

Mikrobia yang pada umumnya berkembang di lingkungan terkontaminasi hidrokarbon sebagian besar adalah bakteri dan kapang. Bakteri merupakan golongan yang lebih dominan dan memiliki peran yang sangat menonjol dalam menguraikan atau mendegradasi limbah, hal ini karena bakteri mempunyai kisaran pH yang bervariasi dan dapat pula tumbuh pada unsur nitrogen rendah sehingga berbeda dengan mikrobia lain yang hidup dengan faktor pembatas tertentu (Ginting, 2007).

Bakteri yang dapat memecah hidrokarbon alifatik seperti seperti etana, propana, antara lain *Mycobacterium*, *Pseudomonas* dan *Flavobacterium*. Adapun kelompok bakteri yang dapat mendegradasi hidrokarbon aromatik seperti naftalena adalah *Pseudomonas*, *Bacillus*, dan *Nocordia* (Alexander, 1997). Berdasarkan penelitian Bossert dan Bartha (1984), terdapat 22 genera bakteri yang hidup di lingkungan minyak bumi, isolat yang mendominasi terdiri dari beberapa genera yakni, *Alcaligenes*, *Artrobacter*, *Acinobacter*, *Nocordia*, *Achromobacter*, *Bacillus*, *Flavobacterium*, dan *Pseudomonas*.

F. Hipotesis

1. Bakteri indigenus dominan pada lumpur aktif minyak pelumas bekas mobil penumpang adalah genus *Bacillus* sp. dan *Pseudomonas* sp.
2. Penambahan bakteri indigenus dominan pada teknik lumpur aktif meningkatkan kemampuan remediasi minyak pelumas bekas mobil penumpang.

