

PENGHILANGAN BAU SECARA BIOLOGI DENGAN BIOFILTER SINTETIK

Oleh :
Arie Herlambang

Kelompok Teknologi Pengelolaan Air Bersih Dan Limbah Cair, Pusat Pengkajian Dan Penerapan Teknologi Lingkungan, BPPT

Abstrac

Biofilter as one of method processing of waste have been introduced since early 20, but in its application have time to be left by effect of newer technological appearance like trickling filter, rotating biological contactor, activated sludge, and fluidized bed reactor. Biofilter very effective in deodorizing, especially dangerous aromas of organic volatile compound, and poisonous air from industry with efficiency 90 - 99,9%. Biofiltration become more economic compared to carbon adsorption or oxidation when its organic content under 3000 ppm. Most biofilter operate on organic concentration around 1000 ppm or lower. There are some matter to influence market of biofilter, for example : 1). the increasing of regulation about oxide nitrogen emission coming from hot process. Biofilter do not yield nitrogen oxide addition, 2). The increasing of sigh of society about contamination of aroma of facility processing of waste, processing of solid waste and others, 3). preventive methodologies implementation of pollution using condensation and air emission concentration, 4). Pressure to industry to use processes with discard as small as possible, 5). The increasing of attention to emission of hit and organic air materials, and also low cost water treatment technology.

Kata Kunci : *Bau, Odour, Biofilter, Biofilm, Limbah tahu dan tempe, wastewater treatment*

1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pencemaran lingkungan dapat dikenali dengan mudah melalui indra mata, rasa, pendengaran, dan penciuman. Dengan mata dapat dikenali dengan mudah air sungai yang tercemar berwarna keruh atau hitam, asap pabrik yang hitam pekat, atau ikan mati akibat kekurangan oksigen, dengan lidah dapat pula dikenali air yang tidak normal, asam, atau getir, dengan pendengaran dapat dirasakan suara yang sangat gaduh atau ribut melewati batas normalnya,. Dengan indra penciuman, adanya pencemaran dapat diidentifikasi sumbernya dan proses yang sedang berjalan. Pencemaran yang menimbulkan bau menggunakan udara sebagai media pembawanya.

Penghilangan bau dapat dilakukan sebelum pencemar tersebut dilepas ke udara atau dapat juga dilakukan setelah pencemar tersebut dilepas ke udara. Penghilangan bau dengan menggunakan biofilter tercelup mengandalkan pada kesempurnaan proses penguraian bahan pencemar yang dimakan oleh bakteri yang menempel pada permukaan media biofilter, air yang mengalir membawa bahan

pencemar yang sekaligus berfungsi sebagai pemasok makanan bagi bakteri.

Proses yang terjadi dalam media biofilter adalah proses anaerobik-aerobik. Pada proses biofilter tercelup arah aliran searah dengan arah udara yang dipompa dengan menggunakan pompa udara (*blower*), namun demikian pada pencemar yang sudah terlepas ke udara, arah udara berlawanan dengan arah air, dengan demikian pencemar yang berada dalam udara akan terlarut dalam air dan menempel pada permukaan biofilter, untuk selanjutnya berjalan proses anaerobik aerobik dalam permukaan biofilter. Kedua metode ini sama efisiennya, pemilihan teknologi tergantung keperluan dan jenis pencemarnya.

Pemakaian biofilter untuk penghilangan kadar pencemar dalam air dan udara sudah banyak dilakukan oleh para ahli, dengan daerah aplikasi yang sangat luas. Biofilter sendiri banyak macam dan ragamnya, namun dalam pemilihan jenis biofilter ada beberapa hal yang perlu dipertimbangkan, antara lain : luas permukaan spesifik yang tinggi dibanding volumenya, tahan dan tidak mudah hancur, tidak menggunakan perekat organik, mudah untuk dibersihkan, ringan, dan mudah pemasangannya. Biofilter sintetik terbuat dari plastik yang tahan busuk dan

direkatkan dengan pemanas, dengan ukuran rongga dapat mencapai 90%, ringan dan mudah dalam pemeliharaan.

Dengan adanya pencemaran sungai-sungai yang melalui kota-kota besar di Indonesia, penggunaan biofilter sangat menjanjikan dalam mengatasi permasalahan yang timbul, karena 70 – 77% pencemaran sungai yang menimbulkan bau berasal dari limbah domestik, sedangkan sisanya berasal dari industri dan perkantoran. Oleh karena itu sudah saatnya, pembangunan rumah dalam jumlah besar pada suatu wilayah diwajibkan untuk memiliki pengolahan limbah domestik.

1.2 Maksud dan Tujuan

Penelitian ini bermaksud mengkaji peranan biofilter dalam menghilangkan bau yang ditimbulkan oleh proses anaerobik dalam pengolahan limbah cair, dengan tujuan agar proses pengolahan limbah menjadi lebih lengkap, mudah dan murah didalam biaya operasionalnya serta tidak mengganggu masyarakat sekitarnya.

1.3 Penelitian Biofilter

Kenji et al (1990) mengkaji pemakaian delapan jenis media biofilter, yaitu kristobalit, zeolit, vermikulit, karbon aktif granular, lempung granular, batu keramik, debu vulkanik, dan peluru gotri. Kenji berpendapat bahwa media biofilter yang mempunyai performance baik berhubungan dengan permukaan yang kasar dari pada luas permukaan yang luas, karena meskipun kristobalit mempunyai luas permukaan yang lebih kecil (50 m²/g) dibanding karbon aktif granular (1125 m²/g), kristobalit mempunyai permukaan yang kasar dengan banyak lubang-lubangnya mempunyai laju beban maksimum TOC yang tinggi, yaitu 8 g/l tiap hari pada air limbah sintesis. Selanjutnya Kenji berpendapat bahwa mikroorganisme yang umumnya bermuatan negatif lebih mudah melekat pada kristobalit yang bermuatan positif dibanding zeolit yang bermuatan negatif pada pH 7. Kesimpulan dari penelitian ini menyatakan bahwa media untuk melekatkan mikroorganisme sebaiknya mempunyai permukaan kasar dan bermuatan positif dibandingkan luas permukaan yang lebih luas.

Kantardjieff dan Grenier (1997), meneliti limbah dari pemotongan babi untuk mengevaluasi sistem biofilter dengan laju aerasi yang tinggi (*high rate aerated biofilter system*), nilai ekonomi termasuk investasi, biaya pengoperasian dan pemeliharaan, serta mengevaluasi sistem biofilter untuk menghilangkan bau. Kapasitas alat adalah 8

m³/hari. Sistem terdiri dari dua biofilter dengan sistem *up flow* terpasang secara seri dan dilengkapi dengan tiga buah blower dan dua tangki pengendapan masing-masing volume 1 m³. Air baku yang digunakan mempunyai BOD 600 mg/l dan COD 1800 mg/l. Biofilter yang dioperasikan pada temperatur 28 °C, dapat menurunkan 90% BOD, 75% COD dan 80% SS dengan beban organik mencapai 6 kg COD/m³ tiap hari. NH₃-N hampir dapat dihilangkan semua dan berubah menjadi nitrit dan nitrat.

TRG Biofilter, (2000) menyatakan bahwa biofiltrasi adalah teknologi yang murah dan sangat efektif untuk pengendalian polusi udara yang secara nyata menurunkan biaya investasi dan biaya operasi jangka panjang dibandingkan dengan teknologi konvensional seperti filtrasi karbon atau oksidasi. Biofilter terbukti secara komersial di Eropa sejak tahun 1990'an, dan telah berhasil mengendalikan sejumlah pencemar udara seperti bau-bau yang berbahaya, senyawa organik volatil, dan pencemar udara yang beracun yang bersumber dari industri dan masyarakat dengan efisiensi 90 – 99,9%. Biofiltrasi menjadi lebih ekonomis dibandingkan dengan adsorpsi karbon atau oksidasi ketika aliran udara dengan kecepatan tinggi dan kandungan organik volatilnya dibawah 3000 ppm. Kebanyakan biofilter beroperasi pada konsentrasi kandungan organik volatil 1000 ppm atau lebih rendah.

Mohseni et al (1998), menggunakan biofilter untuk meneliti limbah dari pabrik kertas berupa senyawa organik volatil dalam bentuk emisi. Degradasi secara biologi senyawa organik volatil dilakukan dengan percobaan dua biofiltrasi yang terpisah. Dua biofilter yang identik skala percobaan dioperasikan dalam waktu penelitian yang lama. Media biofilter terdiri dari campuran potongan kayu dan kompos jamur dengan perbandingan volume sebanding yang juga dicampur dengan perlit, karbon aktif granular atau potongan kecil kayu. Hasil penelitian ini berhasil menyerap 100% dari bau, tetapi hanya pada perioda awal.

Amanullah et al (1999), mencoba membuat model matematik dengan percobaan mengolah aliran udara yang tercemar dengan senyawa organik volatil dengan menggunakan biofilter dibawah kondisi transien dan steady state. Hasilnya menunjukkan bahwa kinerja biofilter berkaitan erat dengan luas permukaan spesifik media biofilter untuk transfer massa dan ketebalan biofilm. Hasil simulasi lebih jauh juga menyatakan bahwa media biofilter yang mempunyai daya adsorpsi lebih tinggi mampu mengatasi fluktuasi beban pencemar disamping kecepatan reaksi pada fase adsorpsi.

Valentis dan Lesavre (1990), meneliti pemakaian geotekstil untuk pengolahan air

limbah dengan menggunakan mikroorganisme yang melekat pada sistem aerobik. Media geotekstil yang juga merupakan jenis biofilter, mudah dipasang dan dioperasikan dalam pengolahan limbah dibandingkan biofilter granular. Pada proses ini beban volume dari *influen* dapat mencapai 8 kg BOD₅/m³ tiap hari, tetapi rata-rata mendekati 5 kg BOD₅/m³ tiap hari, sedangkan pada lumpur aktif jarang mencapai 1,5 kg BOD₅/m³ tiap hari, atau sering berkisar 0,1 dan 1 kg BOD₅/m³ tiap hari.

Homme et al (1990), menyatakan bahwa biofilm yang terbentuk akan mengurangi produksi lumpur karena beban massa yang lebih rendah. Umur lumpur yang lebih lama akan memungkinkan proses oksidasi amonia tetap berlangsung dalam populasi mikroba campuran, selama rasio makanan dan mikroba tercukupi. Proses yang sempurna ini akan mengurangi bau cukup efektif.

Arvin dan Harremoes (1990), mengulas tentang mekanisme dasar yang mengatur transformasi pendekatan baru untuk penduga kinerja biofilm. Desain biofilm didasarkan terutama pada kriteria beban empiris atau formula desain empiris. Keluarnya peraturan *effluen* yang lebih ketat membutuhkan reaktor biofilm yang baru. Model reaktor biofilm yang paling baru didasarkan pada transport massa masuk dan didalam biofilm dengan ekspresi kinetik untuk perubahan pencemar dalam biofilm. Model simulasi yang sederhana didasarkan pada kinetik setengah orde mampu menggambarkan penghilangan bahan terlarut, mineralisasi bahan organik, nitrifikasi, dan denitrifikasi. Model-model simulasi lanjutan dalam beberapa tahun ini memperlihatkan harapan yang baik dimasa datang untuk analisis detail dari variasi pengaruh karakteristik *influen*, dinamika populasi bakteri dan konfigurasi reaktor. Walaupun demikian tidak ada model yang dapat memprediksi secara tepat tentang penghilangan bahan partikel dan campuran dari beberapa bahan kimia organik industri.

Hermanovict dan Chey (1990), menyatakan bahwa kinerja dari reaktor biologi sistem *fluidize bed* untuk denitrifikasi, dianalisis dengan memperhatikan waktu tinggal rata-rata untuk sel (*Mean Cell Residence Time = MCRT*) dan distribusi biomassa dalam reaktor. Optimum MCRT terjadi pada saat laju penghilangan maksimum. Penurunan laju penghilangan substrat pada MCRT yang rendah terjadi akibat jumlah biomassa dalam reaktor yang sedikit. Pada MCRT yang panjang, akan menurunkan efektifitas biofilm akibat berkurangnya makanan.

Ramin et al (2000), mencoba menganalisis karakteristik aliran dan pengaruh pertumbuhan bakteri yang terdispersi dalam biofilter yang terendam air. Sistem lumpur aktif

merupakan salah satu sistem biologi yang digunakan untuk mengolah berbagai jenis air limbah yang mengandung bahan organik. Untuk mengetahui kinerja dari sistem digunakan pengolah limbah dalam skala percobaan untuk mengolah air limbah petrokimia. Hasil penelitian menunjukkan bahwa dengan berbagaimacam pengaturan pemasukkan udara dan laju alir serta kombinasinya yang diperlakukan pada sistem, pertumbuhan film biologis pada berbagai macam beban hidrolis tidak merubah pola pencampuran secara nyata. Penelitian ini digunakan untuk mempelajari karakteristik aliran pertumbuhan biofilm dalam sistem air limbah untuk permodelan program komputer.

Araujo et al (1998) melakukan pengukuran aktivitas bakteri metanogenik dengan menggunakan *scanning electron microscopy (SEM)* untuk mempelajari populasi mikroba dan struktur biofilm yang terbentuk pada butir pasir. Biofilm dikembangkan dalam reaktor anaerobik sistem *fluidized bed* (diameter 0,08 m dan tinggi 0,9 m) yang diberi air limbah sintesis. Ketebalan biofilm bertambah dari 10 menjadi 70 µm sesudah 510 hari operasi. Stratifikasi dalam bioreaktor diamati dalam satu tahun pengoperasian dan aglomerasi biofilm juga terbentuk dalam ukuran 2-5 mm. Aktivitas mikroba ditentukan melalui produksi metan dari asetat, butirat, propionat dan sukrosa.

Allison (1998) menyatakan bahwa karakteristik dari banyak biofilm adalah produksi poli sakarida eksoselular. Polimer ini merupakan komponen yang menyatu dengan ultrastruktur biofilm dan berperan dalam proses melekat dan melindungi sel yang terletak dibawahnya dari fluktuasi keadaan disekelilingnya. Biofilm tersusun oleh komunitas campuran dari mikroorganisme dan produk metabolismenya. Komposisi utama dari biofilm adalah extra selular polisakarida dan 90% merupakan lapisan matrik polimer.

Eberl et al (1998) mengkaji kemampuan mikroorganisme dalam mengurai-kan dan menurunkan efek toksik dari limbah industri. Aktivitas katabolisme sering tidak optimal untuk aplikasi bioteknologi. Saat ini telah dibuat mikroorganisme hasil rekayasa genetik yang ditingkatkan (GEMs) kemampuan biodegradasinya. Walaupun demikian dalam beberapa penerapan isolat asli dan GEMs tidak menghasilkan kinerja yang diinginkan. Eberl menggunakan protein green flourecent untuk mendeteksi jejak mikroorganisme yang dikenal.

Mohseni et al (1999) berkesimpulan bahwa keberadaan metanol dan senyawa organik volatil dalam limbah secara nyata menurunkan laju penurunan *alfa pinene* (bahan dasar terpentin) dalam air limbah. Laju penghilangan metanol tidak dipengaruhi oleh

keberadaan *alfa pinene* dalam air limbah. Kehadiran metanol dapat menekan pertumbuhan komunitas pengurai *alfa pinene*. Periode aklimatisasi awal untuk biodegradasi metanol sangat singkat dan dalam order beberapa jam, sedangkan untuk *alfa pinene* dapat mencapai satu minggu sampai sepuluh hari.

Lee et al (1999) mencoba menghilangkan zat pencemar Karbon Tetraklorida (KT) yang berasal dari industri. Karbon Tetraklorida dapat dihilangkan dengan menggunakan kompos biofilter dibawah kondisi metanogen. Biofilter kompos dapat berupa bahan organik (kompos) yang dikemas dan dipadatkan. Selama aklimatisasi mikroba, hidrogen dan karbon dioksida dimasukkan sebagai donor elektron dan karbon. Media biofilter dapat menghilangkan 75% dari KT. Pada konsentrasi KT yang tinggi pertumbuhan mikroba akan terganggu.

Lau et al (2000) mencoba mengolah dalam skala laboratorium aliran air hujan dari jalan raya yang membawa pencemar seperti hidrokarbon, logam berat, nutrisi, fenol, dan herbisida. Beban dan konsentrasi unsur-unsur tersebut dalam aliran air hujan tergantung pada curah hujan, kepadatan dan pola lalu lintas, pengendapan udara lokal, pemeliharaan jalan, dan rancangan drainase jalan. Biofilter dengan kerikil halus yang digunakan dapat menghilangkan logam terlarut dan sedimen yang melekatkan logam dalam aliran permukaan. Hasil uji laboratorium menunjukkan bahwa biofilm baru berumur tiga hari sudah dapat menghilangkan 90% logam berat. Biofilter dioperasikan selama sembilan minggu dan dapat menghilangkan 90% total Cu dan Zn.

Shin et al (1999) menggunakan karet ban bekas sebagai media biofilter dalam reaktor berseri anaerobik-aerobik untuk menghilangkan hidrokarbon berklor. Kapasitas adsorpsi ban bekas ternyata lebih besar pada kondisi asam dibandingkan pada kondisi basa. Biomassa yang melekat pada permukaan ban bekas berkisar 3,16-3,72 mg/cm² sesudah 14-37 hari. Dua buah reaktor skala laboratorium dilengkapi dengan media ban bekas untuk menghilangkan 2,4 dichlorophenol (DCP) dan 4-Chlorophenol (CP). Lebih dari 98% DCP terhalogenasi menjadi CP dalam kondisi reaktor anaerobik dan 70-98% sisanya terdegradasi dalam reaktor aerobik. Ban bekas tidak menimbulkan masalah operasional ketika digunakan sebagai media biofilter.

Chou et al (2001-a) meneliti karakteristik mekanisme penghilangan fosfor dengan pengaturan beban hidrolis dan ratio waktu anaerobik dan aerobik menggunakan reaktor berseri. Pengumpulan dan pelepasan inklusi intraselular, khususnya polihidroksialkanoat (PHAs) dan polifosfat, akan menjadi faktor penting untuk penghilangan fosfor. Dalam

kondisi operasi yang berbeda-beda, penghilangan fosfor total selalu ditentukan oleh akumulasi PHAs dan pelepasan fosfor pada fase anaerobik. Akumulasi PHA dibawah kondisi fase anaerobik proporsional dengan kandungan fosfor dalam biofilm dibawah kondisi aerobik. Hasil penelitian menunjukkan organisme pengumpul polifosfat (PAOs) berhubungan erat dengan akumulasi PHA. Akumulasi PHA dibawah fase anaerobik akan tergantung pada hidrolisis sumber karbon kompleks menjadi asam lemak rantai pendek (SCFA).

Chio et al (2001-b) menyatakan bahwa biofilter tercelup efektif dalam menghilangkan bahan organik dan nitrogen total. Ada perbedaan karakteristik antara *up flow* biofilter dan *down flow* biofilter. Pada *up flow* biofilter penghilangan COD terjadi pada zona 0 – 20 cm di atas biofilter, tetapi pada *down flow* biofilter terbentuk pada zona yang tercelup. Proses nitrifikasi tergantung pada waktu tinggal hidrolis dan residual COD. Pada *down flow* biofilter, efisiensi nitrifikasi meningkat sejalan dengan meningkatnya waktu tinggal hidrolis. Pertumbuhan bakteri nitrit mempunyai kecenderungan menempati zona yang lebih tinggi dalam *down flow* biofilter, khususnya pada waktu tinggal hidrolis yang lama.

Madone et al (2001) meneliti distribusi spasial dan komposisi biologi dari biomassa aktif yang tumbuh dalam biofilter dan mengkaji efek pencucian terhadap jumlah biomassa yang melekat dan pada kepadatan dan aktivitas populasi biologi. Hasil pengamatannya menunjukkan aktivitas mikroorganisme heterotrofik lebih tinggi di lapisan atas filter. Mikroorganisme nitrit membentuk koloni biofilter dengan cara stratifikasi dan aktivitasnya tinggi di lapisan kedua. Dalam biofilter ditemukan 14 spesies protozoa yang bersilia dan 7 spesies mikroorganisme berfilamen. Siliata terkonsentrasi dalam lapisan filter tempat aktivitas mikro-organisme heterotrofik tinggi. Aktifitas melekatnya siliata pada bakteri heterotrofik mengurangi tekanan kompetisi pada bakteri nitrit, meningkatkan pertumbuhannya dan meningkatkan efisiensi penghilangan amonium. Crenotrik merupakan mikroorganisme berfilamen yang banyak dijumpai dan dijumpai pada lapisan pertama tempat oksidasi besi dan mangan berlangsung.

Rakesh (2002) mencoba mengatasi pencemaran udara dari uap bahan organik (VOCs) dan pencemar udara berbahaya (HAPs), dengan menggunakan biofilter tetes (*biotrickling filter*). Biofilter tetes mempunyai keunggulan dibanding proses lain, yaitu 1). Biofilter tidak mempunyai batas ketinggian dan dapat dirancang seperti menara dengan diameter yang memadai, 2). Media biofilter tidak memerlukan

penggantian, 3). Biofilter mempunyai Laju biodegradasi yang tinggi, 4). Biofilter sintetik mempunyai berat yang sangat ringan dibandingkan filter kompos tradisional, 5). Biofilter mempunyai fraksi rongga yang besar, 6). Biaya investasi dan operasi lebih rendah dibanding proses panas dan oksidasi kimia, 7). Biofiltrasi tidak memerlukan bahan kimia. Disamping itu biofiltrasi mempunyai produk samping yang berupa limbah biomassa yang dapat dengan mudah dibuang kedalam saluran. Namun demikian proses termal untuk mengatasi VOCs dan HAPs juga menghasilkan gas oksida nitrogen yang dapat menyebabkan penipisan lapisan ozon dan pembentukan kabut di udara. Proses oksidasi kimia yang menggunakan hipoklorit menghasilkan klorin dan produk teroksidasi lain yang dapat mengganggu kesehatan. Selanjutnya dikatakan bahwa ada beberapa hal yang akan mempengaruhi pasar untuk teknologi biofiltrasi, antara lain : 1). meningkatnya peraturan tentang emisi nitrogen oksida yang berasal dari proses panas. Biofilter tidak menghasilkan tambahan oksida nitrogen, 2). Meningkatnya keluhan masyarakat tentang pencemaran bau dari fasilitas pengolahan limbah, pengolahan limbah padat dan lain-lain, 3). Implementasi metodologi pencegahan polusi yang menggunakan larutan mudah terurai dan mengurangi konsentrasi emisi udara, 4). Penekanan kepada industri untuk menggunakan proses-proses dengan buangan sekecil mungkin (*zero discharge processes*), 5). Meningkatnya perhatian kepada emisi pencemar udara dan pekerja yang terkena bahan organik serta lebih menitik beratkan kepada teknologi pengolahan limbah yang ramah lingkungan dan biaya rendah.

Sarina dan Andreas (2001) meneliti kinerja *hollow fibre membrane bioreactors* (HFMB) untuk proses denitrifikasi hidrogenotropik dari air minum yang terkontaminasi. Dalam HFMB, H₂ mengalir melalui cahaya yang melalui serat berlubang hidrofobik dan terdifusi ke dalam biofilm. Nitrat dalam air yang tercemar berfungsi sebagai penerima elektron. Kultur denitrifikasi hidrogenotrofik diperkaya dari fase pembenihan. Percobaan skala kecil dilakukan untuk membandingkan laju denitrifikasi pada kondisi heterotrofik (metanol sebagai donor elektron) dan hidrogenotrofik dan untuk menyelidiki kondisi yang dibutuhkan untuk studi HFMB. Percobaan dimulai dengan laju denitrifikasi 30 g NO₃-N/m³/hari untuk kondisi heterotropik dan 18 g NO₃-N/m³/hari untuk kondisi hidrogenotropik. HFMB skala laboratorium dibangun menggunakan 2400 serat berlubang yang terbuat dari polipropilin, dengan diameter dalam 200 mikron dan diameter luar 250 mikron dan lubang pori ukuran 0.05 mikron. Setelah periode

pembibitan selama 70 hari, laju beban NO₃-N meningkat secara perlahan selama periode tiga bulan. Laju penggunaan NO₃ dapat mencapai maksimum 770 g NO₃-N/m³/hari pada konsentrasi influen NO₃ 145 mg NO₃-N/liter dan waktu tinggal hidraulik 4,1 jam. Konsentrasi influen NO₃ mencapai 200 mg/liter hampir semuanya terdenitrifikasi.

Payraudeau et al (2000) menguji pemakaian tiga prototipe biofilter skala industri dengan kapasitas rata-rata 25 m³/detik untuk kurun waktu lebih dari empat tahun. Salah satu dari prototipe tersebut adalah *up flow* biofilter yang menggunakan biofilter yang terbuat dari polistiren. Proses yang khusus ini disebut *biostyr* dan digunakan sebagai nitrifikasi tersier biofilter. Hasil dari pengujian adalah proses biofilter dapat menghasilkan konsentrasi amonia yang sangat rendah dengan beban nitrogen yang berbeda-beda (0,3 – 2,7 kg NTK/m³/hari), bahkan pada temperatur rendah dan beban karbonat yang tinggi. Dengan mengukur kondisi operasi (beban dan temperatur), kehilangan tekanan filter dapat diduga. Penurunan amonia yang sangat rendah oleh biofilter dapat mengurangi bau yang ditimbulkan oleh limbah industri.

Kramer et al (2000) melakukan perubahan pada unit pengolah air limbah untuk memenuhi kriteria total nitrogen (10 mg/liter N sebagai rata-rata tahunan). Biofilter dipasang pada bagian akhir, untuk proses post denitrifikasi. Hasil pengujian menunjukkan tidak lebih dari 20% beban nitrogen yang dapat didenitrifikasi, 40-60% tertinggal di instalasi dan terbawa bersama efluen.

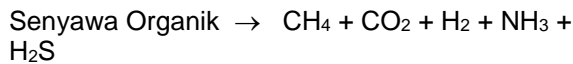
Wijeyekoon et al (2000) menyelidiki pertumbuhan dan internal struktur dari biofilm menggunakan *Confocal Scanning Laser Microscopy* dan *fluorescently labeled oligonucleotide probe hybridization*. Biofilm yang terdapat di atas permukaan datar yang halus seperti gelas tipis, tumbuh seperti kelompok sel yang terisolasi. Dibawah kondisi aliran yang linier dengan kecepatan 1,7 cm/detik biofilm yang dewasa membentuk struktur yang terdiri dari kelompok sel yang saling berhubungan membentuk tiga dimensi. Permukaan tubular yang licin juga membentuk kelompok sel yang terisolasi. Namun struktur kelompok tidak dapat diamati pada biofilm tubular yang dewasa. Dibawah kondisi aliran laminar biofilm tubular mempunyai distribusi bentuk sel yang seragam. Biofilm tubular yang padat dihasilkan dibawah kondisi aliran turbulen yang mempunyai struktur berlapis dan tebal. Jika diamati dari beberapa hasil kajian para peneliti yang mengkaji kinerja biofilter, secara umum biofilter sangat efektif untuk menghilangkan bau, terutama yang diakibatkan oleh amonia dan sulfida dengan

efisiensi penurunan yang cukup tinggi berkisar 90 – 99%.

1.4 Pengolahan Limbah Sistem Anaerobik

Penguraian anaerobik terdiri dari serangkaian proses mikrobiologi yang merubah bahan organik menjadi metan. Produksi metan adalah fenomena umum dalam bermacam-macam lingkungan alam berkisar dari es glaser sampai sedimen, rawa, pencernaan hewan pemakan rumput, dan ladang minyak. Fenomena alam mengenai proses pembentukan metan (*metanogenesis*) ditemukan lebih dari seabad yang lalu. Jika dalam proses aerobik mikroorganismenya yang terlibat hanya dari beberapa jenis saja, sedangkan dalam proses anaerobik sebagian besar proses terjadi akibat bakteri.

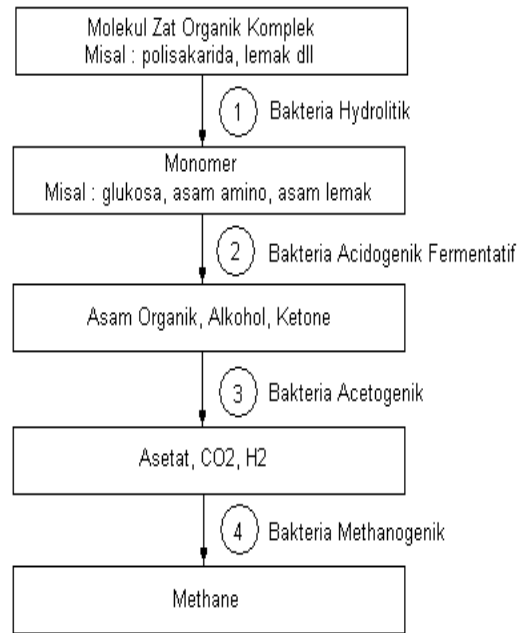
Kumpulan mikroorganismenya, umumnya bakteri, terlibat dalam transformasi senyawa kompleks organik menjadi metan. Lebih jauh lagi, terdapat interaksi sinergis antara bermacam-macam kelompok bakteri yang berperan dalam penguraian limbah. Keseluruhan reaksi dapat digambarkan sebagai berikut (Gabriel Bitton, 1994) :



Meskipun beberapa jamur (fungi) dan protozoa dapat ditemukan dalam penguraian anaerobik, bakteri tetap merupakan mikroorganismenya yang paling dominan bekerja didalam proses penguraian anaerobik. Sejumlah besar bakteri anaerobik dan fakultatif (seperti : *Bacteroides*, *Bifidobacterium*, *Clostridium*, *Lactobacillus*, *Streptococcus*) terlibat dalam proses hidrolisis dan fermentasi senyawa organik. Ada empat kelompok bakteri yang terlibat dalam transformasi material kompleks menjadi molekul yang sederhana seperti metan dan karbon dioksida. Kelompok bakteri ini bekerja secara sinergis. Gambar 1.

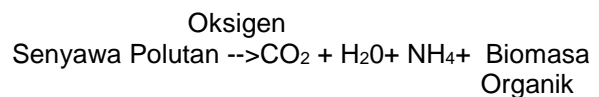
E. Pengolahan Limbah Sistem Aerobik

Di dalam proses pengolahan air limbah organik secara aerobik, senyawa kompleks organik akan terurai oleh aktifitas mikroorganismenya aerob. Mikroorganismenya aerob tersebut didalam aktifitasnya memerlukan oksigen atau udara untuk memecah senyawa organik yang kompleks menjadi CO₂ (karbon dioksida) dan air serta ammonium, selanjutnya amonium akan dirubah menjadi nitrat dan H₂S akan dioksidasi menjadi sulfat. Secara sederhana reaksi penguraian senyawa organik secara aerobik dapat dilihat pada Gambar 1.

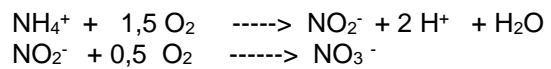


Gambar 1. Bakteri Metabolik dalam penguraian limbah sistem anaerobik (Gabriel, 1994).

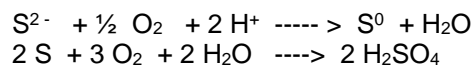
Reaksi Penguraian Organik :



Reaksi Nitrifikasi :



Reaksi Oksidasi Sulfur :

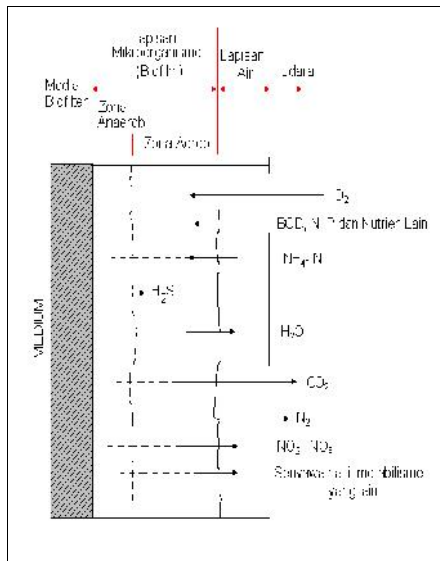


1.5 Biofilter Dalam Pengolahan Limbah

Oksigen dan nutrien yang dibawa oleh air yang diolah akan terdifusi menembus lapisan biofilm sampai lapisan sel yang paling dalam yang tidak dapat ditembus oleh oksigen dan nutrien. Setelah beberapa lama, terjadi stratifikasi menjadi lapisan aerobik tempat oksigen masih dapat terdifusi dan lapisan anaerobik yang tidak mengandung oksigen (Gambar 2). Ketebalan kedua lapisan ini bervariasi tergantung jenis reaktor dan material pendukungnya.

Proses pembentukan bau yang muncul dari gas sulfida dapat muncul dari kondisi anaerobik pada proses respirasi sulfat dimana mikroorganismenya berperan penting dalam pembentukannya. Didalam proses pembentukannya bakteri pembentuk sulfur bersaing dengan bakteri pembentuk metana

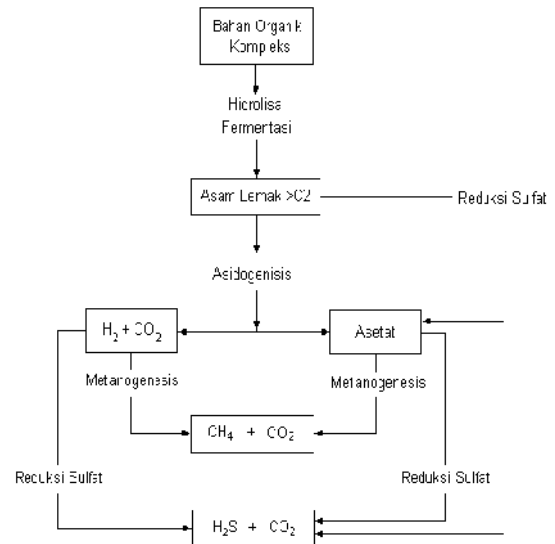
dalam memperebutkan H₂ yang dilepas pada proses fermentasi.



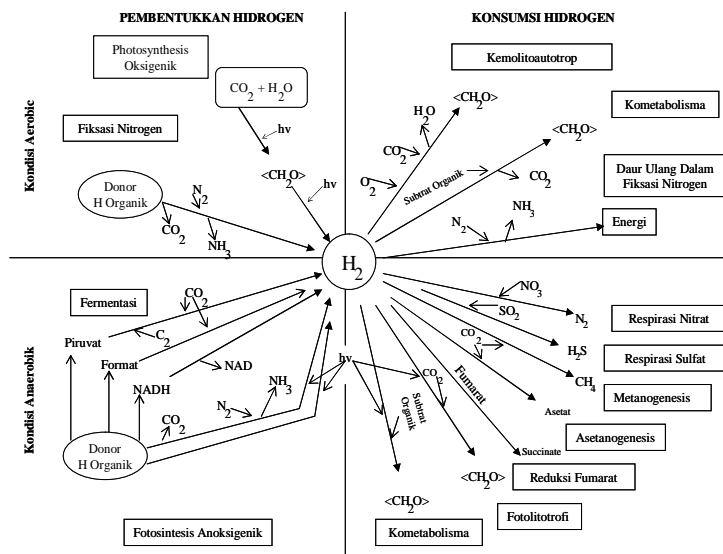
Gambar 2 : Proses metabolisme biofilter (Arvin.dan Harremoes,1990.).

Bakteri penurun sulfat dan metanogen dapat memperebutkan donor elektron yang sama, asetat dan H₂, Gambar 12. Studi tentang kinetika pertumbuhan dari dua kelompok bakteri ini menunjukkan bahwa bakteri pemakan sulfat mempunyai afinitas yang lebih tinggi terhadap asetat ($K_s = 9,5 \text{ mg/l}$) dibanding metanogen ($K_s = 32,8 \text{ mg/l}$). Hal ini berarti bahwa bakteri pemakan sulfat akan memenangkan kompetisi pada kondisi konsentrasi asetat yang rendah.

Bakteri pemakan sulfat dan metanogen sangat kompetitif pada nisbah COD/SO₄ berkisar 1,7 - 2,7. Pada nisbah yang lebih tinggi baik untuk metanogen, sedangkan bakteri pemakan sulfat lebih baik pada rasio yang lebih kecil. Dalam aplikasi yang nyata untuk keperluan pemanfaatan energi lebih baik diambil dari limbah dengan BOD yang tinggi (berkisar 5000 – 20000 ppm).



Gambar 4 : Kompetisi metanogen dan bakteri pemakan sulfat (Rinzema dan Lettinga, 1988 dalam Bittom, 1994).



Gambar 3. Proses biologi dari pembentukan dan Konsumsi H₂ (Rachman,1998).

2. MATERIAL DAN METODA PENELITIAN

2.1 MATERIAL

A. Air Limbah

Air limbah yang digunakan untuk penelitian diambil dari air limbah tahu yang diambil dari kompleks industri kecil tahu tempe di Semanan, Jakarta Barat

B. Media Biofilter

Media biofilter yang digunakan adalah media dari bahan plastik PVC tipe sarang tawon dengan spesifikasi seperti pada Tabel 1.

Tabel 1. Spesifikasi media penyangga yang digunakan untuk penelitian.

Tipe	: Sarang Tawon, cross flow.
Material	: PVC
Ukuran Modul	: 30 ^{cm} x 25 ^{cm} x 30 ^{cm}
Ukuran Lubang	: 2 cm x 2 cm
Ketebalan	: 0,5 mm
Luas Spesifik	: $\pm 226 \text{ m}^2/\text{m}^3$
Berat	: 30-35 kg/m ³
Porositas Rongga	: 0,98
Warna	: Hitam

2.2 METODA PENELITIAN

A. Rancangan Reaktor

Dalam penelitian skala pilot ini reaktor limbah dirancang dengan volume 140 liter untuk satu reaktornya. Dalam reaktor kombinasi ada dua reaktor, sehingga volumenya menjadi 280 liter. Reaktor disusun dalam dua seri anaerobik-aerobik, masing-masing dengan menggunakan biofilter dan tanpa menggunakan biofilter. Media sintetis yang digunakan mempunyai luas permukaan spesifik sebesar 200 – 225 m²/m³, dilengkapi dengan blower kapasitas 200 liter udara/jam dan pompa sirkulasi 60 liter/hari.

Percobaan dilakukan selama 16 minggu secara kontinu dengan pengaturan waktu tinggal mulai dari 7 hari sampai dengan 1 hari. Percobaan dimulai dengan waktu tinggal 7 hari kemudian diatur 5 hari, 3 hari dan 1 hari. Selama percobaan, limbah yang digunakan berasal dari limbah tahu tempe dari Komplek Industri Kecil Tahu Tempe, Semanan, Jakarta Barat.

Pembiakan bakteri dilakukan selama kurang lebih satu bulan, dengan menggunakan limbah yang sama. Pertumbuhan biofilm dapat

dilihat pada permukaan biofilter yang telah ditumbuhi lendir tipis dan licin. Percobaan dimulai ketika seluruh permukaan biofilter telah terselimuti biofilm secara merata. Biofilter sebelum dicelupkan ditimbang terlebih dahulu dan nanti setelah selesai percobaan ditimbang kembali dalam kondisi kering, untuk dihitung banyaknya biomassa yang melekat pada permukaan biofilter. Materi kering dari biofilter ini dapat dipergunakan untuk pembiakan bakteri kembali jika diperlukan.

Pengambilan contoh air dilakukan pada air baku dan setiap kolom reaktor, setiap akhir minggu. Proses pengambilan contoh tidak boleh menimbulkan pergolakan pada air reaktor, oleh karena itu perlu digunakan pipet dan gelas ukur.

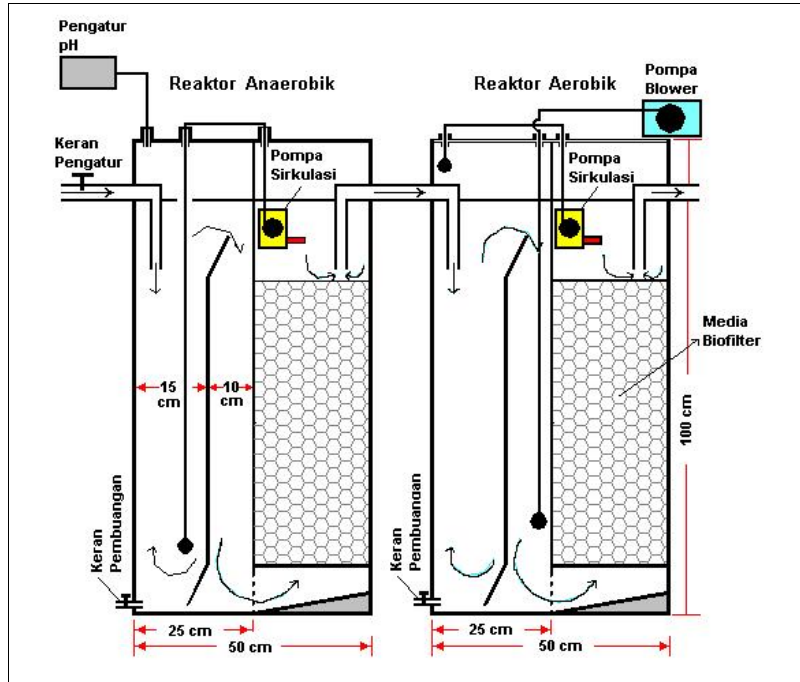
B. Prosedur Analisis

Seluruh prosedur analisis yakni BOD, COD dan padatan tersuspensi (suspended solids, SS) serta parameter warna didasarkan pada " American Standard Method. Parameter warna menggunakan skala Pt-Co.

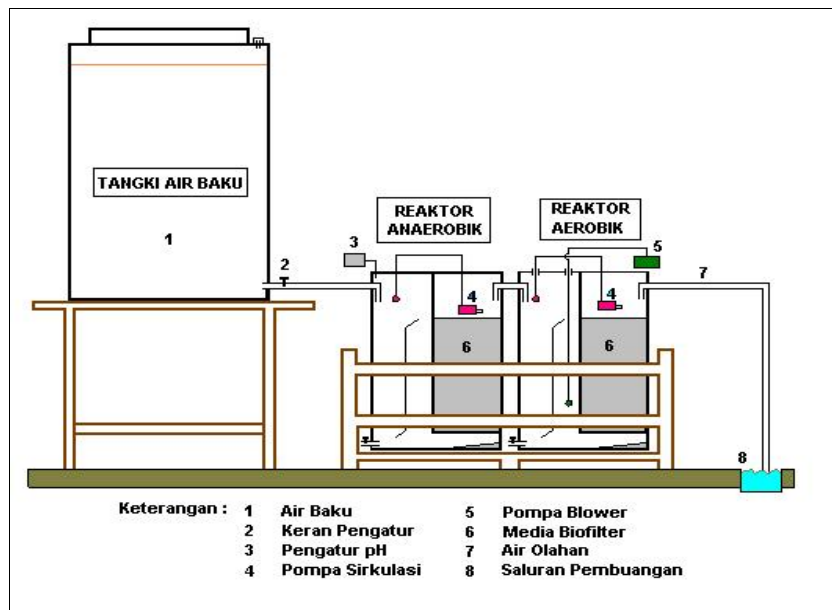
C. Prosedur percobaan

Pengolahan air limbah dilakukan dengan cara mengoperasikan reaktor biologis yang terdiri dari bak pengendapan awal, biofilter anaerob, biofilter aerob serta bak pengendapan akhir. Skema proses pengolahan serta ukuran reaktor ditunjukkan seperti pada Gambar 5 dan 6. Lebar satu reaktor 28 cm, panjang reaktor 50 cm, dan tinggi 100 cm. Volume efektif reaktor 140 liter. Satu seri reaktor anaerobik-aerobik terdiri dari dua reaktor, sehingga panjangnya menjadi 100 cm dan volumenya menjadi 280 liter.

Air limbah di tampung ke dalam tangki penampung, yang juga berfungsi sebagai bak pengendapan awal. Dari bak pengendapan awal air limbah dialirkan ke biofilter anaerob. Biofilter anaerob terdiri dari dua ruangan yang diisi dengan media plastik sarang tawon. Arah aliran didalam biofilter anaerob adalah dari bawah ke atas. Air limpasan dari biofilter anaerob selanjutnya masuk ke biofilter aerob. Di dalam biofilter aerob juga diisi dengan media sarang tawon dengan arah aliran dari bawah ke atas, sambil dihembus dengan udara menggunakan blower. Selanjutnya, air yang telah diolah melimpas keluar. Air di dalam bak pengadapan akhir sebagian disirkulasi ke biofilter anaerob dengan ratio sirkulasi hidrolis (Hydraulic Recycle Ratio, HRR) = 1. Air limpasan dari bak pengendapan akhir merupakan air olahan.



Gambar 5. Rancangan Reaktor Kombinasi.



Gambar 6. Rancangan Percobaan Reaktor Sistem Kombinasi Anaerob-Aerob.

D. Proses Seeding Mikroorganisme

Pada saat baru dipasang, media biofilter belum ada mikroorganisme yang menempel pada permukaan media. Oleh karena itu perlu dilakukan proses pengembangbiakan (*seeding*) mikroorganisme agar tumbuh melekat pada permukaan media. Proses *seeding* dilakukan dengan cara mengalirkan air limbah rumah tangga ke dalam reaktor

dengan proses anaerob-aerob seperti di atas selama satu bulan dengan waktu tinggal (Hydraulic Retention Time, HRT) 3 hari dan ratio sirkulasi hidrolis, HRR =1.

Selanjutnya seluruh air limbah yang dimasukkan ke dalam reaktor adalah air limbah yang berasal dari industri kecil tahu tempe, pencucian, limbah domestik yang telah ditampung dalam kolam penampungan limbah.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Kondisi Air Baku dan Air Olahan

Air baku yang digunakan adalah air dari limbah tahu tempe di Primkopti Semanan, Jakarta Barat. Kandungan BOD air limbah berkisar 300 – 500 mg/l, COD 400 – 600 mg/l, berwarna hitam dan menimbulkan bau busuk yang mengganggu masyarakat sekitar. Bau busuk yang timbul diperkirakan berasal dari pelepasan gas sulfida hasil pembusukan dari protein kedelai pada kondisi anaerobik. Air baku ini diolah dengan proses kombinasi anaerobik – aerobik dengan mempergunakan biofilter. Penggunaan biofilter dimasukkan sebagai tempat melekat bakteri pengurai. Dengan luas permukaan biofilter berkisar 200 – 225 m³/hari, diharapkan akan banyak bakteri yang melekat, sehingga proses penguraian menjadi lebih efisien. Proses kombinasi anaerobik-aerobik dimaksudkan untuk menyempurnakan proses penguraian yang terjadi pada kondisi anaerobik pada proses aerobik.

Selama percobaan pH air baku cenderung naik, pada setiap satuan waktu tinggal. Namun demikian pada akhir pengolahan air yang keluar nilai pH cenderung stabil dengan kisaran pH sekitar 7,2. Kondisi oksigen terlarut pada air baku sangat kecil, yaitu berkisar 2,4 – 2,8 ppm, kondisi ini cenderung masuk kedalam kondisi anoksik dalam reaktor anaerobik, namun pada akhir pengolahan air dimasukkan dalam reaktor anaerobik, maka kondisi oksigen dinaikkan dengan cara pemberian udara mempergunakan blower, hingga akhirnya kondisi oksigen dipertahankan sekitar 4,8 – 5,5 ppm.

Air hasil olahan proses pengolahan proses kombinasi anaerobik-aerobik sudah terlihat jernih, dengan nilai BOD yang turun hingga 20 - 50 ppm dan COD 80 - 100 ppm. Efisiensi yang dicapai berkisar 85 - 92. %. Pada waktu tinggal yang cepat efisiensinya menurun, namun demikian jika pembentukan lapisan biofilternya sudah tebal reaktor akan lebih stabil dan baik kinerjanya. Peningkatan efisiensi dapat pula dilakukan dengan menambah volume biofilter, sehingga luas permukaannya menjadi lebih luas dan lebih banyak bakteri yang menempel dan proses penguraiannya menjadi lebih sempurna.

3.2 Masalah Bau

Masalah bau pada pengolahan limbah muncul dari pembentukan gas H₂S dan munculnya amonia. Pada pengolahan limbah sistem terbuka, kedua unsur ini mutlak harus diturunkan sampai kadar yang tidak menimbulkan bau, terutama untuk instalasi

pengolahan limbah yang terletak didekat pemukiman dan perkantoran.

Bau dari H₂S

Percobaan dengan Waktu Tinggal 7 hari

Kadar sulfida dalam air limbah berkisar 8,56 - 12,60 mg/l. Setelah diolah dengan menggunakan reaktor kombinasi anaerob-aerob dengan media biofilter (RM4) ternyata penurunannya cukup tajam hingga mampu menurunkan sampai pada kisaran 0,080 – 0,560 mg/l atau sekitar 93,46 - 99,07 %. Sedangkan pada reaktor yang tidak mempergunakan media biofilter (RNM4) hanya mampu menurunkan sekitar 0,640 - 1,120 mg/l atau 88,32 – 92,56 % (Gambar 7 : Minggu ke 1 - 4). Nilai sulfida ini jika ditinjau dari Kep-51/MENLH/10/1995 sebagian memenuhi syarat (0,05 – 0,1 mg/l), Terlihat bahwa pemakaian biofilter jauh lebih efektif menurunkan sulfida dalam air dibanding reaktor yang tidak memakai biofilter. Untuk meningkatkan efisiensi volume biofilternya dapat ditambah.

Percobaan dengan Waktu Tinggal 5 hari

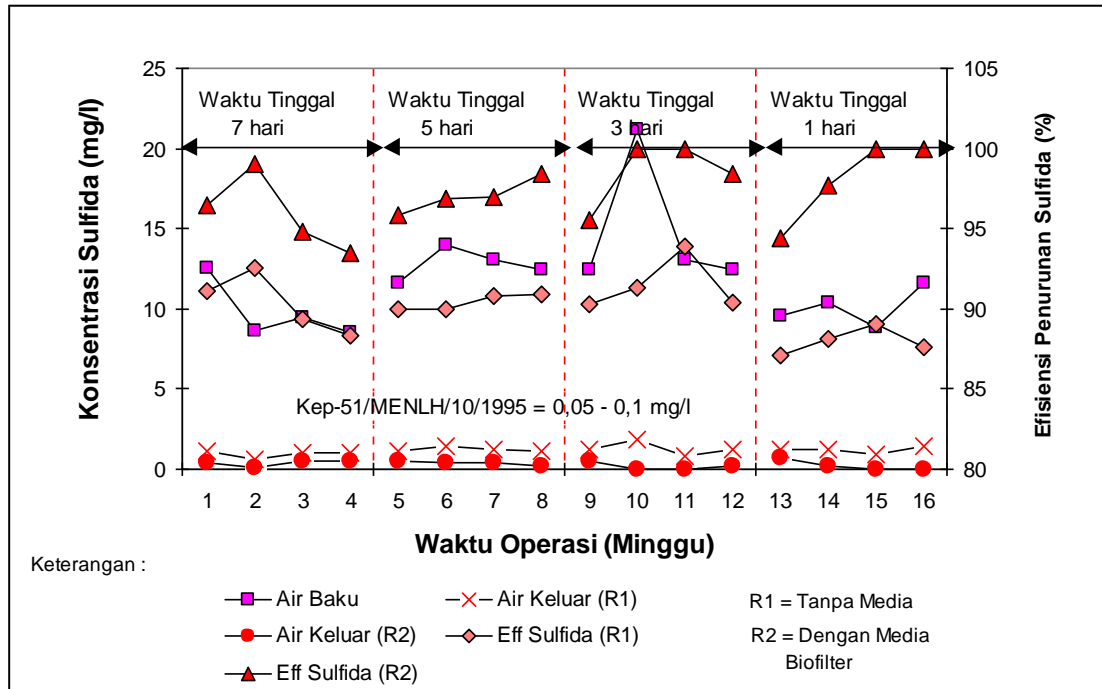
Kadar sulfida pada air limbah cukup tinggi berkisar 11,6 – 14 mg/l. Tingginya kadar sulfida ini dapat diamati dari warna air yang hitam pekat. Hasil pengolahan dengan media biofilter (RM4) dalam waktu tinggal 5 hari terjadi penurunan yang cukup tajam, yaitu sekitar 0,200 – 0,480 mg/l atau sekitar 93,46 – 99,07 %. Sedangkan pengolahan tanpa media biofilter (RNM4) hanya mampu menurunkan sulfida sekitar 1,20 – 1,40 mg/l atau sekitar 90,00 – 90,80% (Gambar 7 : Minggu ke 5 – 8). Nilai sulfida ini jika ditinjau dari Kep-51/MENLH/10/1995 sebagian memenuhi syarat (0,05 – 0,1 mg/l). Walaupun ada beberapa bagian yang tidak memenuhi syarat, efisiensi yang dicapai sudah cukup tinggi, yaitu diatas 90%. Untuk meningkatkan efisiensi pada proses pengolahan dengan waktu tinggal 5 hari ini diperlukan penambahan volume udara dengan meningkatkan kapasitas blowernya. Terlihat bahwa pemakaian biofilter jauh lebih efektif menurunkan sulfida dalam air dibanding reaktor yang tidak memakai biofilter. Untuk meningkatkan efisiensi volume biofilternya dapat ditambah.

Percobaan dengan Waktu Tinggal 3 hari

Sulfida pada air limbah cukup tinggi, yaitu berkisar 12,400 – 21,200 mg/l. Hasil pengukuran menunjukkan penurunan cukup besar pada reaktor dengan media biofilter

(RM4), yaitu sekitar 95,48 - 100 % atau sekitar 0 - 0,68 mg/l. Pada kondisi ini air menjadi tidak berbau dan jernih. Sedangkan pada pengolahan tanpa media biofilter (RNM4) menunjukkan penurunan kadar sulfida yang cukup besar juga, yaitu sekitar 0,96 - 1,44 mg/l atau sekitar 90,32 - 93,87 % (Gambar 7 : Minggu ke 9 - 12). Nilai

sulfida ini jika ditinjau dari Kep-51/MENLH/10/1995 sebagian memenuhi syarat (0,05 - 0,1 mg/l), Terlihat bahwa pemakaian biofilter jauh lebih efektif menurunkan sulfida dalam air dibanding reaktor yang tidak memakai biofilter. Untuk meningkatkan efisiensi volume biofilternya dapat ditambah.



Gambar 7. Perkembangan Konsentrasi Sulfida air baku dan air olahan (R1 dan R2), selama percobaan dengan berbagai macam waktu tinggal.

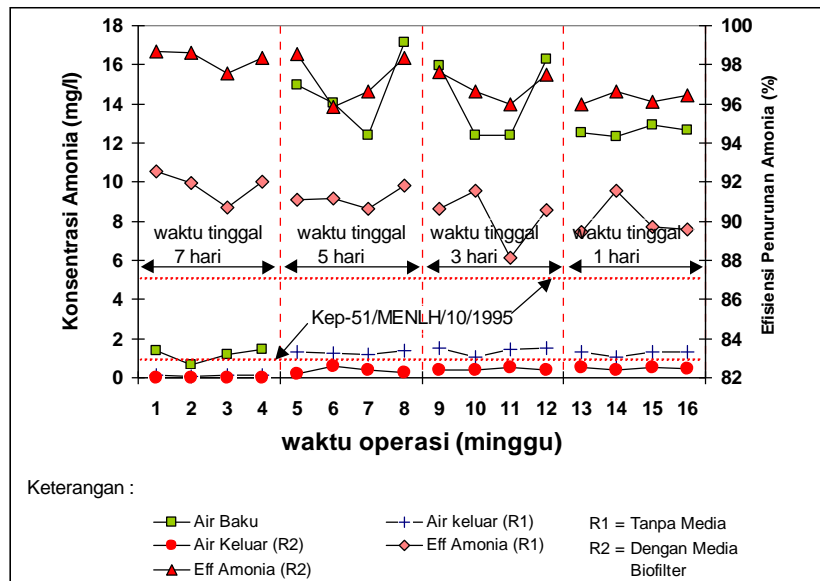
Percobaan dengan Waktu Tinggal 1 hari

Kadar sulfida pada air limbah berkisar 8,800 - 11,600 mg/l. Hasil pengamatan pada bagian akhir reaktor yang memakai media biofilter (RM4), terjadi penurunan kadar sulfida sekitar 94,37 - 100 % atau sekitar 0 - 0,68 mg/l. Sedangkan pengamatan pada reaktor yang tidak memakai media biofilter (RNM4) menunjukkan penurunan sekitar 87,08 - 89,09 % atau berkisar 0,96 - 1,44 mg/l (Gambar 7 : Minggu ke 13 - 16). Nilai sulfida ini jika ditinjau dari Kep-51/MENLH/10/1995 sebagian memenuhi syarat (0,05 - 0,1 mg/l), Terlihat bahwa pemakaian biofilter jauh lebih efektif menurunkan sulfida dalam air dibanding reaktor yang tidak memakai biofilter. Untuk meningkatkan efisiensi volume biofilternya dapat ditambah.

Bau dari Ammonia

Percobaan dengan Waktu Tinggal 7 hari

Pengujian kadar ammonia dengan waktu tinggal 7 hari secara umum menunjukkan penurunan baik pada reaktor anaerobik maupun aerobik, dengan media biofilter maupun yang tanpa media biofilter. Kadar ammonia dalam air limbah tidak terlalu tinggi, hanya sekitar 0,650 - 1,418 mg/l. Dengan waktu tinggal 7 hari dan selang pengambilan contoh air selama satu minggu didapat hasil pada reaktor yang tidak memakai media (RNM4) ammonia turun berkisar 90,73 - 92,53 % atau konsentrasinya menjadi berkisar 0,052 - 0,113 mg/l.



Gambar 8. Perkembangan Konsentrasi Amonia air baku dan air olahan (R1 dan R2), selama percobaan dengan berbagai macam waktu tinggal.

Sedangkan pada reaktor yang memakai media biofilter (RM4) konsentrasi ammonia turun berkisar 0,009 – 0,023 mg/l atau sekitar 97,58 – 98,68% (Gambar 8 : Minggu ke 1 - 4). Nilai amonia ini jika ditinjau dari Kep-51/MENLH/10/1995 dan Surat Keputusan Gubernur DKI Nomor 582 Tahun 1995 masih memenuhi syarat (1 - 5 mg/l).

Percobaan dengan Waktu Tinggal 5 hari

Kadar ammonia air limbah yang digunakan berkisar 12,416 – 17,136 mg/l. Pengolahan dengan reaktor kombinasi anaerob – aerob dengan media biofilter (RM4) dengan selang pengambilan contoh air satu minggu mendapatkan hasil amonia yang menurun sekitar 95,84 – 98,56% atau sekitar 0,216 – 0,585 mg/l. Sedangkan pengolahan dengan reaktor kombinasi anaerob-aerob tanpa menggunakan media biofilter (RNM4) hanya mampu menurunkan amonia berkisar 2,425 – 3,141 mg/l atau sekitar 90,66 – 91,84%. Sedangkan pada reaktor yang memakai media biofilter (RM4) konsentrasi ammonia turun berkisar 0,009 – 0,023 mg/l atau sekitar 97,58 – 98,68% (Gambar 8 : Minggu ke 5 – 8). Nilai amonia ini jika ditinjau dari Kep-51/MENLH/10/1995 dan Surat Keputusan Gubernur DKI Nomor 582 Tahun 1995 masih memenuhi syarat (1 - 5 mg/l).

Percobaan dengan Waktu Tinggal 3 hari

Pada pengujian reaktor dengan waktu tinggal 3 hari, mempunyai kadar ammonia air

limbah berkisar 12,416 – 16,287 mg/l. Selang waktu pengambilan contoh air adalah selama satu minggu. Hasil penguraian pada reaktor kombinasi anaerob-aerob tanpa menggunakan media biofilter (RNM4) mendapatkan hasil berkisar 1,045 – 1,531 mg/l atau turun sekitar 88,15 – 91,59%. Sedangkan pada reaktor yang memakai media biofilter penurunan mencapai 95,95 – 97,62% atau sekitar 0,380 – 0,502 mg/l (Gambar 8 : Minggu ke 9 – 12). Sedangkan pada reaktor yang memakai media biofilter (RM4) konsentrasi ammonia turun berkisar 0,009 – 0,023 mg/l atau sekitar 97,58 – 98,68%. Nilai amonia ini jika ditinjau dari Kep-51/MENLH/10/1995 dan Surat Keputusan Gubernur DKI Nomor 582 Tahun 1995 masih memenuhi syarat (1 - 5 mg/l).

Percobaan dengan Waktu Tinggal 1 hari

Konsentrasi ammonia pada air limbah berkisar 12,383 – 12,909 mg/l. Selang pengambilan contoh air satu minggu dan lama percobaan satu bulan. Hasil akhir pengujian pada reaktor kombinasi anaerob-aerob tanpa media biofilter (RNM4) menunjukkan efisiensi penurunan berkisar 89,45 – 91,56% atau sekitar 1,045 – 1,324 mg/l. Sedangkan pengujian dengan mempergunakan media biofilter menunjukkan penurunan berkisar 96,00 – 96,61% atau sekitar 0,420 – 0,502 mg/l. Sedangkan pada reaktor yang memakai media biofilter (RM4) konsentrasi ammonia turun berkisar 0,009 – 0,023 mg/l atau sekitar 97,58 – 98,68% (Gambar 8 : Minggu ke 13 – 16). Nilai amonia ini jika ditinjau dari Kep-

51/MENLH/10/1995 dan Surat Keputusan Gubernur DKI Nomor 582 Tahun 1995 masih memenuhi syarat (1 - 5 mg/l).

KESIMPULAN DAN SARAN

1. Biofilter sintetik secara efektif dapat menurunkan bau yang diakibatkan oleh munculnya gas H₂S dan Ammonia akibat proses pembusukkan protein dari limbah tahu dan tempe.
2. Penurunan kadar H₂S tertinggi terjadi pada waktu tinggal 1 hari dengan efisiensi berkisar 94,37 - 100 %
3. Penurunan kadar ammonia tertinggi terjadi pada waktu tinggal 7 hari dengan efisiensi berkisar 98 s/d 99 %, namun demikian pada waktu tinggal 1 hari efisiensi sudah mencapai 96%.
4. Pemakaian biofilter pada reaktor berpengaruh nyata (>5%) terhadap efisiensi penurunan H₂S dan ammonia dibanding reaktor yang tidak memakai biofilter.

DAFTAR PUSTAKA

1. Allison, D.G., 1998, Exopolysaccharide (EPS) Production in Bacterial Biofilm, *Biofilm Journal*, Volume 3, Paper 2.
2. Amanullah, M; Farooq, S; Viswanathan, S., 1999, Modelling and simulation of a biofilter, *Industrial and Engineering Chemical Research*, 38(7): 2765-2774.
3. Araujo. J.C., Campos, J.R., dan Vazoller, R.F., 1998, Methanogenic Biofilm : Strukture and Microbial Population Activity in an Anaerobic Fluidized Bed Reactor Treating Synthetic Wastewater, *Biofilm Journal*, Volume 3, Paper 3.
4. Arvin. E. dan Harremoes. P. 1990. Concepts And Models For Biofilm Reactor Performance. pp 177-192 *dalam* Technical Advances in Biofilm Reaktors. Water Science and Technology. Bernard. J. (editor). Vol. 22. Number 1 / 2 1990. Printed In Great Britain.
5. Barnes, D., dan P.A. Fitzgerald. 1987. *Anaerobic wastewater treatment processes*, pp. 57 - 113, *dalam* : *Environmental Biotechnology*, C.F. Forster dan D.A.J. Wase, Eds. Ellis Horwood, Chichester, U.K.
6. Chiou, R.J., Ouyang, C.F., Lin, K.H., dan Chuang, S.H., 2001, The Characteristics of phosphorus removal in an anaerobic/aerobic sequential batch biofilter reaktor, *Journal Water Science Technology*, Vol. 44 No. 1. P. 57 – 65.
7. Chiou, R.J., Ouyang, C.F., dan Lin, K.H., 2001, The effects of the flow pattern on organic oxidation and nitrification in aerated submerged biofilters, *Journal enviromental technology*, Vol 22. No. 6. P 705 – 717.
8. Eberl, L., Ammendo, A., Geisenberger, O., Schulze, R., Givskov, M., Sternberg, C., Molin, S.R. dan Schleifer, K.H., 1998, Use of green flourescent protein for online, single cell detection of bacteria introduced into activated sludge microcosms, Volume 3, Paper 1.
9. Ebie, K. dan Noriatsu, A., 1992, Sanitary Engineering fot Practice (Esei Kougaku Engshu), Water and wastewater (Jusoido To gesuido), Morikita Shupang, Tokyo, p. 231.
10. Gabriel Bitton. 1994. *Wastewater Microbiology*, A John Wiley & Sons, INC., New York.
11. Hermanovict. S.W. dan Chey. Y.W., 1990, *Water Science Technology*, Vol. 22 No 112, Halaman 193 –202).
12. Homme. M.B., Rogalla. F., Boisseau. G. dan Sibony. J., 1990, Enhancing Nitrogen Removal in Activated Sludge with Fixed Biomass, *Water Science and Technology*, Volume 22 Number 112, halaman 121 – 135.
13. Kantardjieff, A. dan Grenier, Y., 1997, Aerobic Biofilter Treatment of Flushed Swine Manure and Stabilization of Screened Solids, *Technology Evaluation and Demonstration Project*, College of Agricultural and Life Sciences, North Carolina State University.
14. Kramer, J.P., Wounter, J.W., Noordink, M.P., Anink, D.M., Janus, J.M., 2000, Dynamic denitrification of 3600 m³/h sewage effluent by moving bed biofiltration, *Journal Water Science and Technology*, Vol. 41 No. 4-5, p.29-33
15. Lau, Y.L., Marsalek, J., Rockfort, Q., 2000, Use of Biofilter for Treatment of Heavy Metals in Highway Runoff, *Water Quality Reaseach Journal of Canada*, V. 35. No. 3. P. 563 – 580.
16. Lee, B.D., Apel, W.A., Miller, A.R., 1999, Removal of Low Concentration of Carbontetrachloride in Compost based biofilters Operated Under Methanogenic Conditions, *Journal of the Air and Waste Management Association*, V. 49. No. 9. P. 1068 – 1072.
17. Lettinga, G., A.F.M. van Velsen, S.W. Hobma, W. de Zeeuw, dan A. Klapwijk. 1980. *Use of upflow sludge blanket (USB) reactor concept for biological wastewater treatment, especially for anaerobic treatment*. *Biotechnol. Bioeng.* 22 : 699-734.
18. Madoni. P., Davoli, D., Fontani, N., Cucchi, A., dan Rossi, F., 2001, Spatial distribution of mocoorganisms and measurements of

- oxygen uptake rate and ammonia uptake rate activity in a drinking water biofilter, *Journal of Environmental Technology*, Vol. 22 No. 4. P. 455 – 462.
19. Menteri Negara KLH 1991. Keputusan Menteri Negara Kependudukan Dan Lingkungan Hidup. Nomor : Kep-03/MENKLH/11/1991, tentang Pedoman Penetapan Baku Mutu Lingkungan, Jakarta.
 20. MetCalf dan Eddy. 1991. *Waste Water Engineering, Treatment, Disposal, and Reuse*. 3 th Edition, Revised by George Tchobanoglous and Franklin. L. Burton. Mc Graw Hill. New York. 1334 Hal.
 21. Moestikahadi. S. dan Agus. J.E. 1996. Parameterisasi Proses Biofiltrasi Dalam Penyisihan Gas SO₂ dan NH₃. *Journal Teknik Lingkungan*. Volume 2. Nomor 1. Januari 1996. Hal 1-15.
 22. Mohseni, M., Allen, D.G., 1999, Transient Performance of Biofilter Treating Mixtures of Hydrophilic and Hydrophobic Volatile Organic Compounds, *Journal of the Air and Waste Management Association*, V. 49. No. 12. P. 1434-1441.
 23. Mohseni, T.M., 1998, Biofiltration of hydrophilic and hydrophobic volatile organic compounds using wood-based media, *DAI*, 60 (1B) : p. 278, 229 hal.
 24. Payraudeau, M., Paffoni, C., Gousailles, M., 2000, Tertiary nitrification in an up flow biofilter on floating media : influence of temperature and COD load, *Journal Water Science and Technology*, Vol. 41 No. 4-5 p. 21 – 27.
 25. Rachman. M.A. 1998. Studies on enhancement of H₂ production by fermentative H₂-producing bacteria *enterobacter aerogenes*. Departemen of Fermentation Technology. Graduate School of Engeneering, Hiroshima University. 129 Hal.
 26. Ramin. N., Ali. R.M., Simin. N., Amir. H.M., dan Mahmood. S., 2000, Analyzing Flow Characteristics and Influence of Biological Growth on Dispersion in Aerated Submerged Fixed Film Reactors (ASFFR), *Biofilm Journal*, Volume 5, Paper 1.
 27. Rakesh, G., 2002, Biofiltration : An emerging technology for metal finishers, Professor of chemical engineering, University of Cincinnati, USA.
 28. Shin, H.S., Yoo, K.S., Park, J.K., 1999, Removal of Polychlorinated phenols in sequential anaerobic-aerobic biofilm reactors packed with tire chips, *Journal Water Environmental Reasearch* V.71. No. 3. P. 363 – 367.
 29. TRG, 2000, *Biofilter Technology, Overview*, 250 El Camino Real No. 204, Tustin, CA 92780, USA).
 30. Valentis, B. dan Lesavre. J., 1990, *Wastewater Treatment by Attached Growth Mikroorganisms on Geotextile Support*, *Water Science and Technology*, Volume 22 Number 1-2, hal 43 – 51).
 31. Wijeyekoon, S., Mino, T., Satoh, H., dan Matsuo, T., 2000, Growth and novel Structural features of tubular biofilms produced under different hydrodynamic conditions, *Journal Water Science and Technology*, Vol.41.No.4-5,p129– 138.