

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Air merupakan salah satu sumber daya alam yang sangat dibutuhkan oleh manusia, hewan dan tumbuhan. Limbah cair merupakan unsur pencemaran yang sangat potensial bagi lingkungan air. Unsur tersebut dapat membahayakan baik terhadap manusia maupun kehidupan biota air. Oleh karena itu, pengolahan limbah cair menjadi semakin penting artinya sebagai bagian dari upaya manusia untuk mengamankan sumber-sumber air yang sangat dibutuhkan mengingat air tersebut sangat terbatas.

Industri jamu merupakan salah satu industri yang banyak menghasilkan limbah cair. Limbah cair industri jamu mengandung bahan organik dan bahan berbahaya seperti fenol dan turunannya yang berasal dari bahan baku tanaman obat yang dipakai. Kehadiran fenol dan turunannya pada badan air memiliki efek serius terhadap kehidupan mikroorganisme meskipun pada konsentrasi yang relative rendah(Kibret et al, 2000; Chung et al, 2003; Kumar et al, 2005).

Industri jamu X di Semarang menghasilkan limbah cair jamu dengan data-data sebagai berikut: pH 4,94; kadar COD 3610 mg/l; BOD 990 mg/l; fenol 9,8; dan TSS 549. Hal ini masih sangat jauh dari ambang batas yang ditentukan pemerintah menurut Perda Provinsi Jawa Tengah No.10 Tahun 2004 yaitu pH 6-9; kadar COD 150 mg/l; BOD 75 mg/l; fenol 0,2; dan TSS 75 sehingga dalam upaya mengatasi permasalahan yang ditimbulkan oleh limbah cair, maka proses pengolahan limbah wajib dilakukan sebelum limbah tersebut dibuang ke badan perairan. Hingga saat ini pengolahan limbah industri jamu dilakukan dengan proses kimia-fisika yaitu dengan penambahan koagulan, aerasi dan sedimentasi. Meskipun dapat mengurangi kandungan COD pada limbah, kadar COD limbah yang keluar dari unit pengolahan limbah tersebut masih cukup tinggi.

Limbah cair jamu yang merupakan limbah organik dengan COD tinggi yang dapat diolah secara biologis menggunakan lumpur aktif. Mikroba yang terdapat pada lumpur aktif dapat menurunkan kadar COD limbah dengan memanfaatkan limbah

tersebut sebagai nutrisi. Bakteri yang digunakan merupakan kultur campuran atau biakan murni. Untuk mendapatkan bakteri dengan biakan murni akan menambah biaya. Karena pertimbangan ekonomis tersebut maka digunakanlah Activated Sludge/ Lumpur Aktif dengan biakan campuran.

Data limbah yang diketahui COD = 3610 mg/l, sehingga penelitian kami dilakukan secara anaerob dengan menggunakan lumpur aktif karena jika kadar COD nya tinggi, penurunan COD nya akan lebih efektif dan efisien bila dilakukan secara anaerob (Robert H. Perry, 1997).

1.2. Perumusan Masalah

Parameter yang akan diteliti adalah kandungan COD dan phenol dari limbah cair jamu yang relative tinggi sehingga perlu dilakukan pengolahan limbah yang tepat untuk menurunkan COD dan phenol agar memenuhi syarat batas baku mutu. Dalam penelitian akan dilakukan sistem pengolahan limbah secara anaerob menggunakan lumpur aktif biakan campuran dari pupuk kandang secara kontinyu dalam reaktor bersekat selama enam jam. Limbah cair jamu dibuat secara sintesis yang dikondisikan sesuai dengan data COD dan fenol limbah sebenarnya. Dalam penelitian akan diamati bagaimana penurunan kadar COD dan fenol pada limbah dengan MLSS dan beban fenol yang dibuat bervariasi serta pengaruh penambahan mikronutrient Cu pada variabel yang optimum.

1.3. Tujuan Penelitian

1. Studi eksperimen pengolahan limbah cair jamu dengan menggunakan lumpur aktif secara anaerob dengan reaktor kontinyu skala laboratorium.
2. Mencari pengaruh variabel MLSS dan beban phenol limbah cair jamu terhadap penurunan kadar COD dan phenol pada limbah cair jamu.
3. Mencari efisiensi penurunan kadar COD, dan phenol pada sistem pengolahan limbah anaerob dengan menggunakan lumpur aktif.
4. Mencari pengaruh mikronutrient Cu terhadap penurunan kadar COD dan phenol pada variabel yang optimum.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Limbah Cair

Air limbah (waste water) adalah air buangan dari masyarakat, rumah tangga, industri, air tanah, air permukaan serta buangan lainnya (Sutapa DAI, 1999). Di dalam limbah cair terkandung zat-zat pencemar dengan konsentrasi tertentu yang bila dimasukkan ke bahan air dapat mengubah kualitas airnya. Kualitas air merupakan pencerminan kandungan konsentrasi makhluk hidup, energi, zat-zat, atau komponen lain yang ada dalam air. Limbah cair mempunyai efek negative bagi lingkungan karena mengandung zat-zat beracun yang mengganggu keseimbangan lingkungan dan kehidupan makhluk hidup yang terdapat di dalamnya.

Karakteristik kimia bahan organik dalam limbah cair adalah sebagai berikut:

1) Protein

Protein merupakan bagian yang penting dari makhluk hidup, termasuk di dalamnya tanaman, dan hewan bersel satu. Protein mengandung karbon, hidrogen, dan oksigen yang mempunyai bobot molekul sangat tinggi. Struktur kimianya sangat kompleks dan tidak stabil serta mudah terurai, sebagian ada yang larut dalam air, tetapi ada yang tidak. Susunan protein sangat majemuk dan terdiri dari beribu-ribu asam amino dan merupakan bahan pembentuk sel dan inti sel. Di dalam limbah cair, protein merupakan unsur penyebab bau, karena adanya proses pembusukan dan peruraian oleh bakteri.

2) Karbohidrat

Karbohidrat antara lain : gula, pati, selulosa dan benang-benang kayu terdiri dari unsur C, H, dan O. Gula dalam limbah cair cenderung terdekomposisi oleh enzim dari bakteri-bakteri tertentu dan ragi menghasilkan alkohol dan gas CO₂ melalui proses fermentasi. Fermentasi merupakan proses peruraian metabolik dari bahan organik oleh mikroorganisme yang menghasilkan energi dan gas, yang berlangsung dalam kondisi anaerobik. Metabolisme merupakan peristiwa pembentukan dan peruraian zat di dalam diri makhluk hidup yang memungkinkan berlangsungnya hidup. Pati merupakan salah satu karbohidrat yang relatif lebih

stabil, tetapi dapat diubah menjadi gula oleh aktivitas bakteri. Sedang selulosa merupakan salah satu karbohidrat yang paling tahan terhadap dekomposisi atau peruraian bakteri. Karbohidrat ini keberadaannya dalam limbah cair mengakibatkan bau busuk dan turunnya oksigen terlarut, sehingga dapat mengganggu kehidupan biota air.

3) Minyak dan lemak

Minyak adalah lemak yang bersifat cair. Keduanya mempunyai komponen utama karbon dan hidrogen yang mempunyai sifat tidak larut dalam air. Bahan-bahan tersebut banyak terdapat pada makanan, hewan, manusia dan bahkan ada dalam tumbuh-tumbuhan sebagai minyak nabati. Sifat lainnya adalah relatif stabil, tidak mudah terdekomposisi oleh bakteri.

4) COD (Chemical Oxygen Demand)

COD adalah banyaknya oksigen yang diperlukan untuk mengoksidasi senyawa organik secara kimiawi. Hasil analisis COD menunjukkan kandungan senyawa organik yang terdapat dalam limbah. Analisis COD dapat dilakukan dengan metode dikromat. (Driyanti Rahayu, 2007)

5) BOD (Biological Oxygen Demand)

BOD adalah jumlah kebutuhan oksigen yang diperlukan oleh mikroorganisme untuk mengoksidasi senyawa organik yang ada dalam limbah. Hasil analisa BOD menunjukkan besarnya kandungan senyawa organik yang dapat terbiodegradasi. (Driyanti Rahayu, 2007)

6) Deterjen

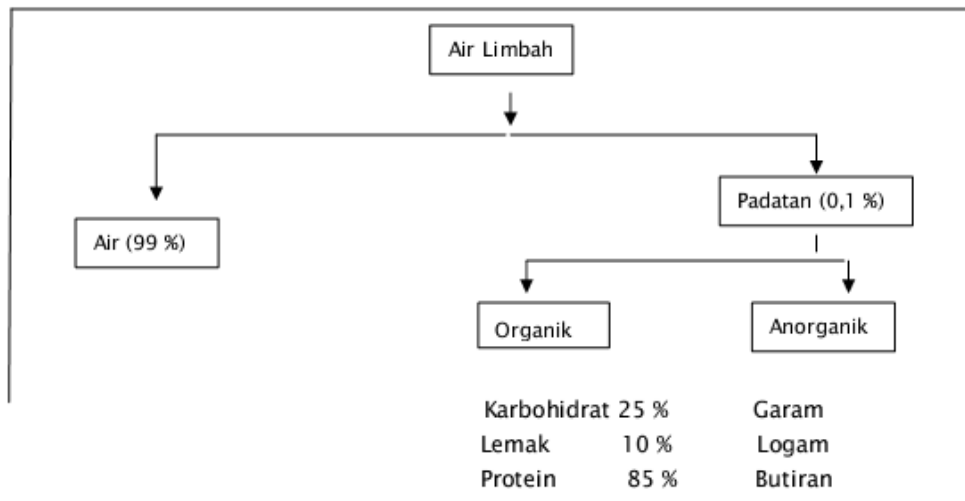
Deterjen termasuk bahan organik yang sangat banyak digunakan untuk keperluan rumah tangga, hotel, dan rumah sakit. Bahan aktif pembersih yang terkandung dalam deterjen di Indonesia sebelum tahun 1993 masih menggunakan ABS (Alkyl Benzene Sulfonate). ABS ini dapat menimbulkan busa yang mempunyai sifat tahan terhadap peruraian biologis, sehingga dapat menimbulkan masalah pencemaran air. Sejak tahun 1993, bahan aktif ini diganti dengan LAS (Linear Alkyl Sulfonate) yang busanya dapat diuraikan, walaupun harganya relatif lebih mahal.

7) Phenol

Phenol juga merupakan bahan organik yang mempunyai sifat larut dalam air. Bahan ini dalam air dapat menyebabkan iritasi yang kuat, racun terhadap kulit dan dapat menyebabkan gangguan terhadap tenggorokan. Toleransi pengolahan untuk air limbah industri adalah 500 mg/l, bila melebihi akan sulit untuk diuraikan secara biologis. Toleransi maksimum untuk air limbah adalah 2 mg/l (Metcalf & Eddy, 2004).

2.2. Komposisi Air Buangan

Sesuai dengan sumber asalnya, maka air limbah mempunyai komposisi yang sangat bervariasi dari setiap tempat dan setiap saat. Akan tetapi secara garis besar air limbah terdiri dari air dan padatan, dimana padatan terdiri dari zat organik yang berupa karbohidrat, lemak, dan protein serta zat anorganik yang berupa garam-garam, logam-logam dan butiran seperti diperlihatkan pada skema pada gambar 1 (Sutapa DAI, 1999).



Gambar 1 : Skema pengelompokan bahan yang terkandung di dalam air buangan

2.3. Pengolahan Limbah Cair

Pengolahan limbah cair bertujuan untuk menghilangkan atau menyisihkan kontaminan. Kontaminan dapat berupa senyawa organik yang dinyatakan oleh nilai

BOD, COD, nutrient, senyawa toksik, mikroorganisme patogen, partikel non biodegradable, padatan tersuspensi maupun terlarut. Kontaminan dapat disisihkan dengan pengolahan fisik, kimia maupun biologi (Metcalf & Eddy,2004).

Unit operasi fisik merupakan metode pengolahan dimana diaplikasikan proses fisik seperti *screening*, *mixing*, flokulasi, sedimentasi, flotasi, filtrasi dan transfer gas. Unit proses kimia merupakan metode pengolahan dimana penyisihan atau konversi kontaminan terjadi karena penambahan bahan kimia dan melawati reaksi kimia seperti presipitasi, adsorpsi dan disinfeksi. Sedangkan unit proses biologi merupakan metode pengolahan dimana kontaminan disisihkan melalui aktivitas biologi yang ditujukan untuk menghilangkan substansi organik *biodegradable* dalam limbah cair (Metcalf & Eddy,2004).

2.4. Pengolahan Limbah Cair secara Biologi

Hampir semua jenis limbah cair dapat diolah secara biologi bila dilakukan melalui analisis dan kontrol lingkungan yang benar. Proses pengolahan biologi merupakan proses pengolahan air limbah dengan memanfaatkan aktivitas pertumbuhan mikroorganisme yang berkontak dengan air limbah, sehingga mikroorganisme tersebut dapat menggunakan bakteri organik pencemar yang ada sebagai bahan makanan dalam kondisi lingkungan tertentu dan mendegradasi atau menstabilisasinya menjadi bentuk yang lebih sederhana (Metcalf & Eddy, 2004).

Umumnya bakteri merupakan mikroorganisme utama dalam proses pengolahan biologi. Karakteristik mereka beragam dan kebutuhan lingkungan yang sederhana membuat mereka dapat bertahan pada lingkungan air limbah. Perlu diperhatikan bahwa mikroorganisme lain juga dapat ditemukan pada lingkungan pengolahan air limbah namun peranannya dalam oksidasi materi organik relatif kecil.

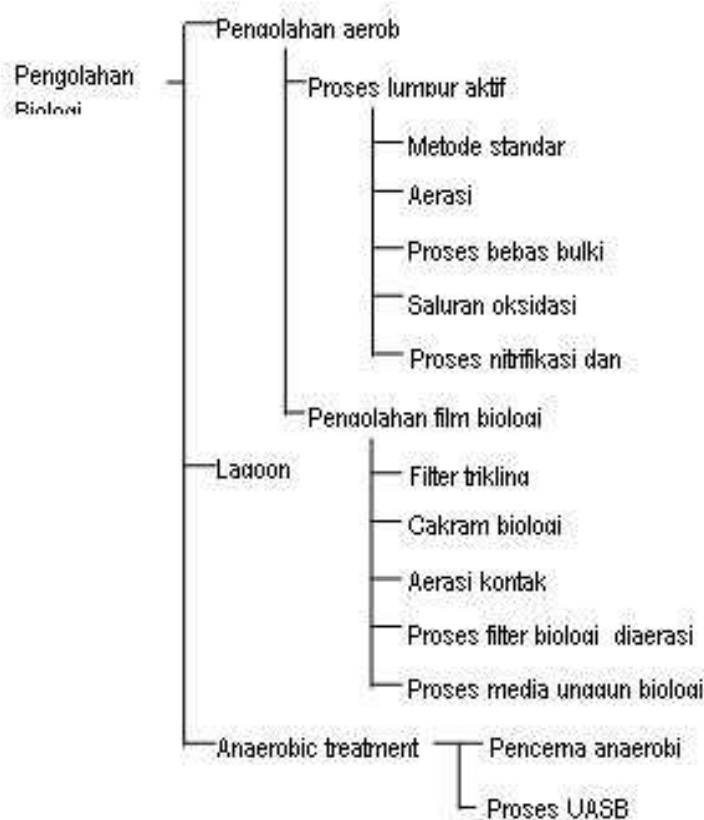
Proses pengolahan biologi juga dapat dibagi berdasarkan media pertumbuhan mikroorganismenya, yaitu :

- a. *Suspended growth* atau pertumbuhan tersuspensi, mikroorganisme berada dalam keadaan tersuspensi di air limbah seperti pada reaktor lumpur aktif atau kolam oksidasi.
- b. *Attached growth* atau pertumbuhan terlekat, mikroorganisme tumbuh terlekat pada media pendukung yang berada di dalam air limbah. Media pendukung ini dapat

berupa media pendukung yang bergerak (*rotating biological contactor, fluidized bed, rotortogue*), diam (*trickling filter, baffled reactor*), terendam (*fluidized bed*) maupun tidak terendam (*trickling filter*).

c. Kombinasi dari *suspended* dan *attached growth*.

Secara keseluruhan, tujuan pengolahan limbah secara biologis pada limbah domestik ialah (1) Mengubah (mengoksidasi) unsure terlarut dan partikel biodegradable ke dalam bentuk akhir yang cocok (2) Menangkap dan menggabungkan padatan tersuspensi dan padatan koloid yang sulit diendapkan pada lapisan biofilm (3) Mengubah atau menghilangkan nutrien, seperti nitrogen dan fosfor (4). Pada beberapa kasus, menghilangkan unsur dan senyawa trace organik spesifik. (Metcalf & Eddy, 2004)

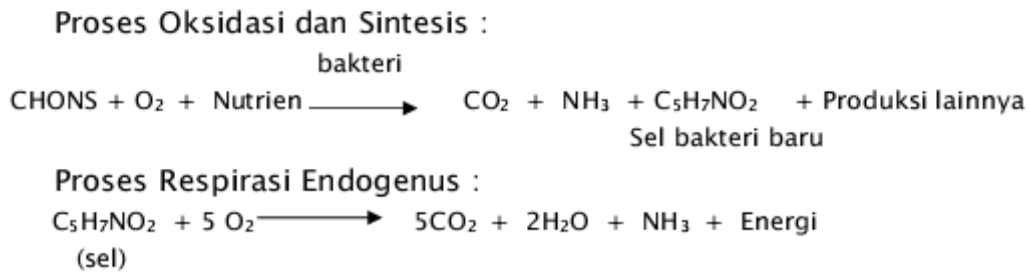


Gambar 2. Skema Diagram pengolahan Biologi

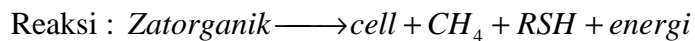
2.5. Proses Aerob

Proses dimana menggunakan O₂. Dibutuhkan aerasi sesuai dengan kebutuhan yang diinginkan. Proses aerob biasanya menghasilkan biomassa dalam jumlah besar (66%) dan menghasilkan air, gas, asam organik (34%) (Sutapa DAI, 1999).

Reaksi yang terjadi :



2.6. Proses Anaerob



(Bambang T. Basuki, 2001)

Beberapa limbah Industri dengan kadar COD dan BOD tinggi lebih efektif diolah dengan menggunakan proses anaerob. Pengolahan limbah anaerob adalah sebuah metode biological untuk peruraian bahan organik atau anorganik tanpa kehadiran oksigen. Produk akhir dari degradasi anaerob adalah gas, paling banyak metana (CH₄), karbondioksida (CO₂), dan sebagian kecil hidrogen sulfide (H₂S) dan hydrogen (H₂). Proses yang terlibat adalah fermentasi asam dan fermentasi metana.

Dalam proses anaerob ini peruraian bahan organik dilakukan oleh mikroorganisme. Mikroorganisme tersebut dibagi dalam dua kelompok yaitu kelompok I yang menghidrolisa dan memfermentasi komponen organik kompleks menjadi komponen organik sederhana seperti asam asetat dan asam propionat. Kelompok bakteri ini terdiri dari bakteri anaerob dan fakultatif yang disebut pembentuk asam. Kelompok II adalah mikroorganisme yang mengubah asam organik yang dibentuk oleh kelompok I menjadi gas methane dan gas CO₂. Bakteri ini disebut pembentuk methane. Beberapa kelompok bakteri anaerob dan fakultatif yang lain memanfaatkan macam-macam ion inorganik yang ada dalam lumpur seperti bakteri mereduksi ion sulfat (SO₄²⁻) menjadi ion sulfid (S²⁻) dan mereduksi Nitrat (NO₃⁻) menjadi nitrogen (N₂).

Sistem pengolahan limbah secara anaerob dijaga kestabilannya agar proses berjalan secara efisien dengan cara mempertahankan keseimbangan antara bakteri pembentuk asam dan methane. Reaktor harus bebas dari oksigen dan logam berat pada konsentrasi tertentu. pH lingkungan harus dijaga agar berada pada rentang 6.6-7.6 dengan penambahan alkalinitas (CaCO_3 atau dolomit) (Metcalf & Eddy, 2004).

2.7. Activated Sludge (Lumpur Aktif)

Sistem lumpur aktif adalah sistem yang paling banyak digunakan dalam pengolahan limbah cair (Sutapa DAI, 2000). Di dalam limbah yang mengandung bahan organik terdapat zat-zat yang merupakan makanan dan kebutuhan-kebutuhan lain bagi mikroorganisme yang akan digunakan dalam proses lumpur aktif. Proses lumpur aktif adalah salah satu proses pengolahan air limbah secara biologi, yang pada prinsipnya memanfaatkan mikroorganisme yang mampu memecah bahan organik dalam limbah cair. Proses lumpur aktif adalah proses dimana limbah cair dan lumpur aktif dicampur dalam satu reaktor.

Salah satu parameter yang sering digunakan dalam pengolahan limbah cair sistem lumpur aktif adalah Mixed Liquor Suspended Solids (MLSS). Mixed liquor suspended solids adalah jumlah dari bahan organik dan mineral berupa padatan terlarut, termasuk mikroorganisme di dalam mixed liquor (Sutapa DAI, 1999).

Pada sistem lumpur aktif aliran kontinu (terus menerus limbah yang masuk) pertumbuhan mikroorganismenya sangat berbeda dengan sistem aliran periodik (misal batch reactor). Dimana pada aliran terus menerus substrat ditambahkan kontinu pada debit Q pada reaktor dengan volume V dan mengandung konsentrasi biomassa X . Penambahan nutrisi, parameter lingkungan seperti kadar oksigen, temperatur, dan pH pada dasarnya terkontrol (Sutapa DAI, 1999).

Komponen biologis lumpur aktif terdiri dari berbagai macam organisme. Bakteri, fungi, protozoa merupakan komponen biologis, massa biologis dari lumpur aktif. Proses pengolahan limbah secara biologi adalah cara yang memanfaatkan mikroorganisme untuk menguraikan material yang terkandung di dalam air limbah. Mikroorganisme sendiri selain menguraikan dan menghilangkan kandungan material, juga menjadikan material yang terurai tadi sebagai tempat berkembang biaknya. Metodologi penelitian menggunakan lumpur aktif adalah merupakan proses

pengolahan air limbah yang memanfaatkan proses mikroorganisme tersebut (Metcalf & Eddy, 2004).

2.8. Faktor-faktor yang Mempengaruhi Pengolahan Limbah Cair dengan Lumpur Aktif

a. Oksigen

Oksigen dibutuhkan ketika pengolahan terhadap air limbah dilakukan secara aerob. Tetapi untuk proses anaerob, kehadiran oksigen pada reaktor pengolahan limbah tidak diperbolehkan sehingga mikroorganisme yang digunakan untuk mendegradasi limbah adalah bakteri anaerob yang tidak membutuhkan oksigen.

b. Nutrisi

Mikroorganisme akan menggunakan bahan-bahan organik yang terkandung dalam limbah cair sebagai makanannya, tetapi ada beberapa unsur kimia penting yang banyak digunakan sebagai nutrisi untuk pertumbuhan bakteri sehingga pertumbuhan bakteri optimal. Sumber nutrisi tersebut antara lain :

~ Makro nutrient

Sumber makro nutrient yang sering ditambahkan antara lain adalah N, S, P, K, Mg, Ca, Fe, Na, dan Cl. Unsur nitrogen dan fosfor yang digunakan biasanya diperoleh dari urea dan TSP dengan perbandingan 5:1 (Metcalf & Eddy, 2004).

~ Mikro nutrient

Sumber mikro nutrient yang penting antara lain adalah Zn, Mn, Mo, Se, Co, Cu, dan Ni . Penggunaan mikronutrient adalah 1-100 µg/L (Robert H. Perry, 1997). Karena jika terlalu banyak justru merupakan racun bagi mikroorganisme. Penambahan mikronutrient Cu lebih dari 1 mg/L mengakibatkan efisiensi penurunan TOC menjadi menurun (Y.P. Ting, *H. Imai and S. Kinoshita, 1994).

c. Komposisi organisme

Komposisi mikroorganisme dalam lumpur aktif sangat menentukan baik atau tidaknya proses pengolahan yang dilakukan. Kondisi yang paling baik untuk pengolahan limbah dengan lumpur aktif adalah apabila populasi mikroorganisme yang dominan adalah free ciliata diikuti dengan stalk ciliata dan terdapat beberapa rotifera.

d. pH

Kondisi pH lingkungan sangat berperan dalam pertumbuhan mikroorganisme terutama bakteri karena derajat keasaman atau kebasaan akan mempengaruhi aktivitas enzim yang terdapat dalam sel bakteri. pH optimum untuk pertumbuhan bagi kebanyakan bakteri adalah antara 6.5- 7.5. Pergeseran pH dalam limbah cair dapat diatasi dengan larutan H_2SO_4 atau NaOH maupun larutan kapur.

e. Temperatur

Pengaruh temperatur untuk pertumbuhan mikroorganisme terutama bakteri adalah terhadap proses kerja enzim yang berperan dalam sintesis bahan-bahan organik terlarut dalam limbah cair. Temperatur optimal dalam proses lumpur aktif untuk pertumbuhan bakteri adalah $32-36^{\circ}C$ (Hammer, Mark J, 1931).

2.9. Mikroorganisme dalam Lumpur Aktif

Flok lumpur aktif mengandung sel-sel bakteri baik itu anorganik maupun organik. Ukuran flok ini bervariasi dari $< 1\mu m$ (ukuran sel bakteri) hingga $1000\mu m$ atau lebih.

(a) Bakteri

Merupakan komponen utama dari flok lumpur aktif, lebih dari 300 jenis bakteri hidup dalam sistem lumpur aktif. Bakteri-bakteri tersebut mendegradasi bahan-bahan organik dan mentransformasi nutrisi. Jenis umum yang sering ditemukan dalam lumpur aktif adalah Zoogloea, Pseudomonas, Flavobacterium, Alcaligenes, Bacillus, Achromobacter, Corynebacterium, Comomonas, Brevibacterium, dan Acinetobacter juga Sphaerotilus, seperti Beggiatoa, dan Vitreoscilla.

(b) Fungi

Yang umum ditemukan adalah Geotrichum, Penicilium, Cephalosporium, Cladosporium, dan Alternaria.

(c) Protozoa

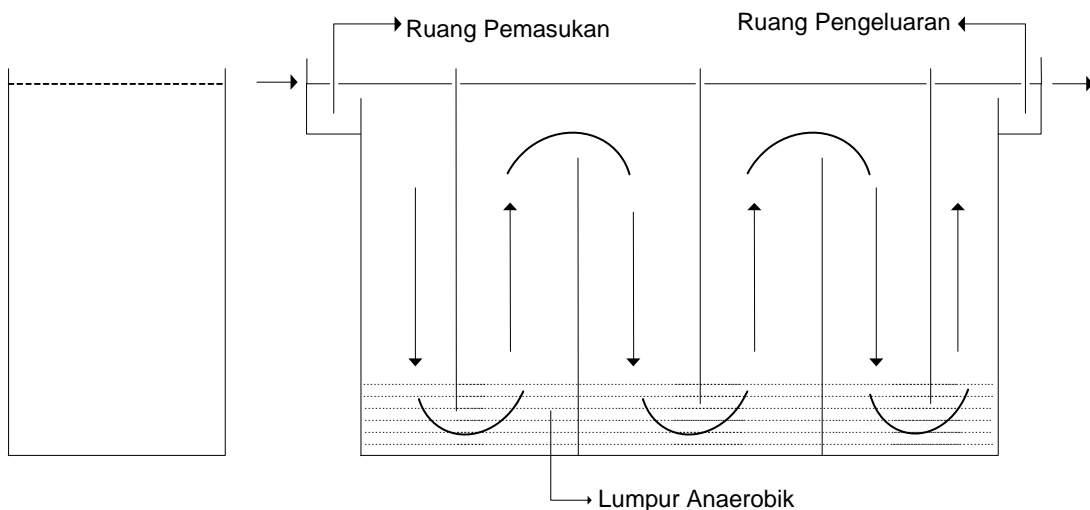
Merupakan predator dari bakteri pada suatu sistem pengolahan air limbah menggunakan lumpur aktif seperti halnya yang terjadi di lingkungan alami

d) Rotifera

Paling umum ditemukan adalah jenis Bdelloidea (e.g. Philodina spp.) dan Lecane Monogononta (e.g. spp) (Sutapa DAI, 1999).

2.10. Reaktor Bersekat Anaerobik

Pengolahan limbah cair proses anaerob dapat dilakukan dengan menggunakan reaktor bersekat anaerob (Bambang T. Basuki, 2000). Dalam hal ini peralatan untuk mengolah limbah cair berbentuk bak dengan sekat-sekat (baffled tank) yang telah terisi lumpur anaerobik. Limbah cair masuk ke reaktor melalui ruang pemasukan dan akan mengalami aliran turun (down flow) yang akan kontak dengan lumpur aktif yang ada dalam dasar tangki, kemudian naik ke atas (up-flow) yang juga kontak dengan lumpur aktif yang ada. Aliran yang terjadi (down-flow dan up-flow) akan berulang sampai ke saluran pengeluaran limbah. Gambar reaktor atau bak bersekat anaerobik seperti di bawah ini :



Gambar 3. Bak Bersekat Anaerobik

2.11. Degradasi Fenol

Salah satu bahan pencemar yang sering menimbulkan masalah adalah hidrokarbon aromatis. Hidrokarbon yang sering dijumpai, terutama di perairan, adalah fenol dan derivatnya dari karbonisasi batubara, bahan kimia sintetik, dan industri minyak. Fenol dengan kadar 500 mg/L ke atas dalam air akan bersifat sebagai racun terhadap bakteri (Ir. C. Totok Sutrisno, Eni Suciastuti, 2004). Senyawa

fenolik ini merupakan polutan berbahaya. Fenol alami dapat dijumpai di berbagai tanaman. Tanin merupakan suatu kelompok senyawa polifenolik yang biasanya merupakan komponen tumbuhan, dan terdiri dari 2 kelas utama, yaitu yang terkondensasi dan hidrolisat. Disamping itu tumbuhan menghasilkan lignin yang merupakan kelompok polifenol sekerabat dengan tanin yang sangat sulit didegradasi oleh bakteri. Degradasi fenol dan homolognya dilakukan oleh berbagai organisme berupa bakteri, jamur, kapang, ganggang, dan tumbuhan tingkat tinggi.

Degradasi senyawa fenol dapat dilakukan lebih mudah dibandingkan dengan senyawa hasil sintetik derivat atau homolog aromatis. Hal ini lebih disebabkan karena senyawa ini telah lebih lama dikenali bakteri pendegradasi sehingga bakteri mampu mendegradasi jauh lebih baik dibandingkan dengan degradasi senyawa derivat sintetiknya. Fenol dan homolognya seperti klorofenol memerlukan suasana aerob dan anaerob agar dapat terdegradasi. Reduktif dehalogenasi dilakukan dalam suasana anaerob, namun tahap pembentukan katekol atau klorokatekol pada reaksi yang menggunakan *ring-dioxygenase* dan *ring-cleavage dioxygenase* memerlukan oksigen. Meski tidak menyebutkan secara spesifik, Mohn and Kennedy (1992) melihat adanya beberapa mikroba anaerob yang mampu mendegradasi klorofenol dan mungkin dapat digunakan pada limbah yang mengandung klorofenol. Biodegradasi anaerobik merupakan suatu pilihan yang murah untuk mengeluarkan bahan pencemar organik *in situ* dari lingkungan.

Kemampuan degradasi mikroba terhadap senyawa fenol dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti jenis mikroba, proses aklimatisasi, senyawa toksik, dan toleransi mikroba terhadap senyawa toksik. Beberapa mikroba tercatat mampu mendegradasi fenol dengan baik. Ganggang eukaryot, *Ochromonas danica*, mampu tumbuh pada fenol sebagai satu-satunya sumber karbon. Ganggang ini mengoksidasi fenol dan memineralisasi fenol menjadi katekol melalui pembelahan meta. Konversi fenol menghasilkan CO₂ sebanyak 60%, 15% tetap dalam medium cair, dan sisanya dikonversi menjadi biomassa. Jamur *Ceriporiopsis subvermispota* dan *Cyathus stercoreus* mampu mendegradasi senyawa tannin.

Senyawa toksik berupa logam berat juga mengganggu mikroba pendegradasi. Kontaminasi logam berat secara alami (erosi, kebakaran, pencucian, aktifitas gunung api, dan transformasi mikroba) dan oleh kegiatan manusia (limbah industri,

pembuangan sampah, dan pembakaran bahan bakar fosil) menyebabkan akumulasi logam dalam relung lingkungan yang anaerobik. Keadaan ini membuat perlunya diketahui kemampuan mikroba untuk mendegradasi senyawa aromatik di daerah yang juga tercemar logam berat. Pertumbuhan bersama antara pereduksi Cr(VI), *Escherichia coli* ATCC 33456, dan pendegradasi fenol, *Pseudomonas putida* DMP-1, secara simultan mereduksi Cr(VI) dan mendegradasi fenol. Penambahan Cr(VI) sebanyak 0.01 ppm meningkatkan biodegradasi fenol sampai 179% dan benzoat sampai 169%, sedang penambahan Cd(II) dan Cu(II) sebanyak 0.01 ppm meningkatkan laju biodegradasi benzoat sampai 185% dan 2-klorofenol sampai 168%. Untuk Hg(II) 1.0-2.0 ppm, 2-klorofenol dan 3- klorobenzoat terdegradasi 133-154% lebih cepat daripada kontrol setelah periode aklimatisasinya diperpanjang. Peningkatan toleransi sel melawan substrat beracun dapat meningkatkan kemampuan degradasi bahan pencemar oleh mikroba terkait (Dwi Suryanto, 2003).

2.12. Efek Oligodinamik

Logam berat seperti Hg, Ag, Cu, Au, dan Pb pada kadar rendah dapat bersifat meracun (toksik). Logam berat mempunyai daya oligodinamik, yaitu daya bunuh logam berat pada kadar rendah. Selain logam berat, ada ion-ion lain yang dapat mempengaruhi kegiatan fisiologi mikroba, yaitu ion sulfat, tartrat, klorida, nitrat, dan benzoat. Ion-ion tersebut dapat mengurangi pertumbuhan mikroba tertentu. Oleh karena itu sering digunakan untuk mengawetkan suatu bahan, misalnya digunakan dalam pengawetan makanan. Ada senyawa lain yang juga mempengaruhi fisiologi mikroba, misalnya asam benzoat, asam asetat, dan asam sorbat(Sri Sumarsih, 2003).

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Waktu dan Tempat

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Pengolahan Limbah Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Diponegoro, pada bulan September-Desember 2009.

3.2. Variabel

Tabel 1. Tabel Variabel Penelitian

Variabel tetap		Variabel berubah	
jenis limbah	= limbah cair	MLSS	= 3000; 4000; 5000 mg/l
	jamu	beban fenol	= 0; 3; 6; 9; 12 mg/l
	sintetis	kadar Cu	= 50 µg/L
volume limbah			
untuk proses lumpur aktif	= 60 L		
suhu	= suhu kamar		
tekanan	= atmosferik		
kondisi proses lumpur aktif	= anaerob		
waktu tinggal	= 6 jam		
kadar COD limbah sintetis	= ±3610 mg/l		

3.3. Respon Pengamatan

Respon yang diamati adalah nilai parameter COD dan fenol awal dan akhir limbah. Nilai parameter COD didapat dengan menggunakan analisa metode Permanganometri sedangkan nilai parameter fenol didapat dengan analisa menggunakan alat spektrofotometri.

3.4. Pengambilan Sampel

Penelitian dilakukan dengan variabel yang telah ditentukan. Setelah waktu tinggal 6 jam terpenuhi kemudian dilakukan pengambilan sampel sesuai kebutuhan untuk dianalisa kadar COD dan fenol akhir.

3.5. Pengolahan Data

Hasil penelitian yang diperoleh dianalisa dengan metode deskriptif yaitu dengan mengumpulkan data - data yang diperlukan (data penurunan COD dan fenol) pada berbagai variabel (MLSS dan beban fenol) yang telah ditentukan, kemudian data - data dari variabel tersebut diplot dalam sistem koordinat. Hasil plotting tersebut dapat berupa sekumpulan titik-titik sehingga sering disebut diagram penyebaran. Dari diagram ini ditentukan bentuk kurva yang paling menentukan dari data - data yang ada. Bentuk kurva seperti ini dinamakan kurva pendekatan dan variabel - variabel yang berhubungan dinyatakan sebagai variabel x dan y.

3.6. Bahan dan Alat yang digunakan

3.6.1. Bahan yang digunakan

1. Air Limbah Industri jamu Sintetis : 60 liter
Pati diperoleh dari Laboratorium Pengolahan Limbah Teknik Kimia Universitas Diponegoro Semarang, Fenol dibeli dari Laboratorium Kimia Dasar Teknik Kimia Universitas Diponegoro Semarang.
2. Lumpur Aktif Anaerob
Pupuk kandang Sekawan produksi Sekar Wangi dibeli dari Pasar Kalisari Semarang.
3. Makronutrient NPK (Urea dan TSP)
Dibeli dari UD. Indrasari.
4. Dolomit :100 gr
Dibeli dari UD. Indrasari.
5. Aquadest
Diperoleh dari Laboratorium Proses Teknik Kimia Universitas Diponegoro Semarang.

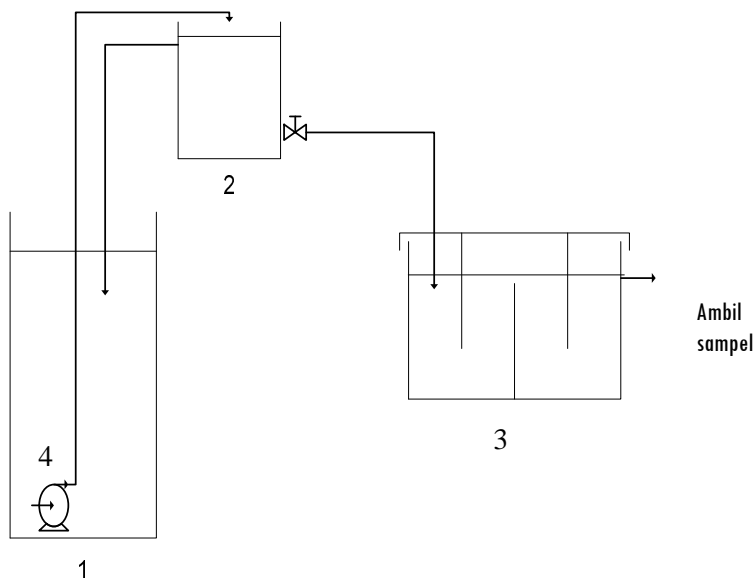
6. Mikronutrient CuSO_4 : kadar Cu $50 \mu\text{g/L}$

Dibeli dari UD. Indrasari.

3.6.2. Alat yang Digunakan

- Alat Proses
 - Tandon feed
 - Constant feed tank
 - Bak lumpur aktif anaerob
 - Pompa Feed
- Alat Analisa
 - Pipet tetes
 - Beaker glass 250 ml
 - Gelas ukur
 - Buret
 - Erlenmeyer
 - Sendok kecil
 - Cawan petri
 - Oven
 - Statif dan klem
 - Corong
 - Spektrofotometer

3.7. Gambar Alat



Keterangan :

1. Tandon feed
2. Constant feed tank
3. Bak lumpur aktif anaerob
4. Pompa Feed

Gambar 4. Rangkaian Alat Penelitian

3.8. Prosedur Penelitian

Buat limbah cair jamu sintetis lalu masukkan dalam tandon feed. Lakukan seeding lumpur aktif. Lumpur aktif yang telah di seeding, dianalisa MLSS nya hingga sesuai dengan variabel. Alirkan feed (limbah cair sintetis) dari tandon feed menggunakan pompa ke tangki feed konstan, tunggu sampai overflow. Masukkan lumpur aktif kedalam tangki lumpur aktif, lalu atur laju alir feed sesuai dengan variabel. Jaga pH di tangki lumpur aktif agar pH=7 dengan menambahkan serbuk dolomit sebanyak ± 100 gr. Setelah 6 jam, ambil sampel untuk selanjutnya dianalisa COD dan fenolnya. Untuk mengetahui pengaruh mikronutrient, Tambahkan mikronutrient Cu pada saat seeding lumpur aktif dengan kadar 50 $\mu\text{g/L}$ untuk mengolah limbah pada variabel yang penurunan COD dan fenolnya optimal.

BAB IV

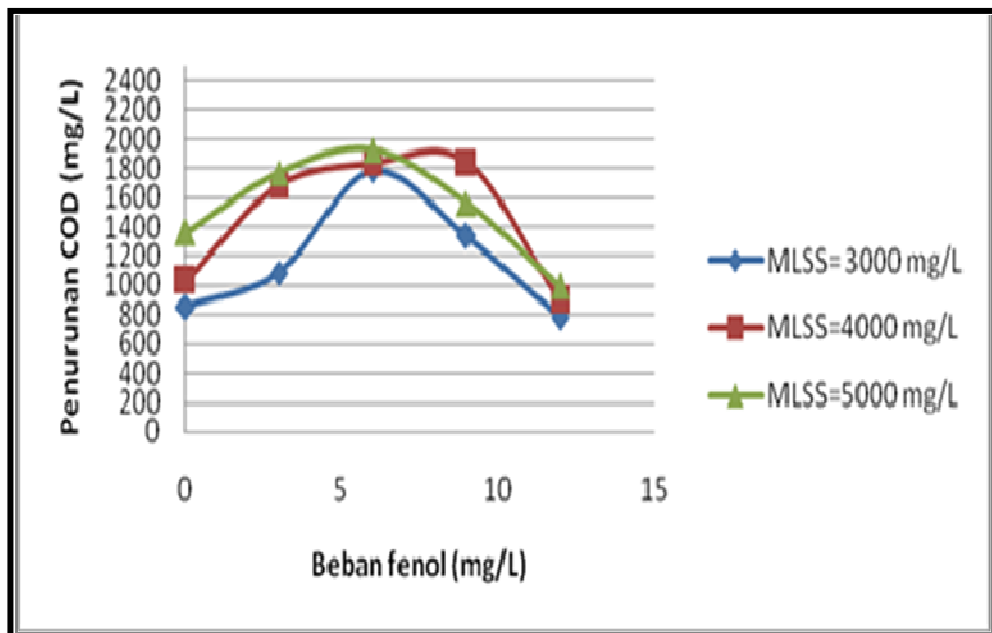
HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Penelitian

Setelah dilakukan penelitian dengan variabel bebas beban fenol 0,3,6,9,12 mg/l dan MLSS 3000, 4000, 5000 mg/l diperoleh hasil sebagai berikut :

- Pada beban fenol awal 0, 3, 6 mg/l, semakin besar MLSS, penurunan COD limbah semakin meningkat. Sedangkan pada beban fenol awal 9,12 mg/l, semakin besar MLSS, penurunan COD limbah cenderung semakin menurun.

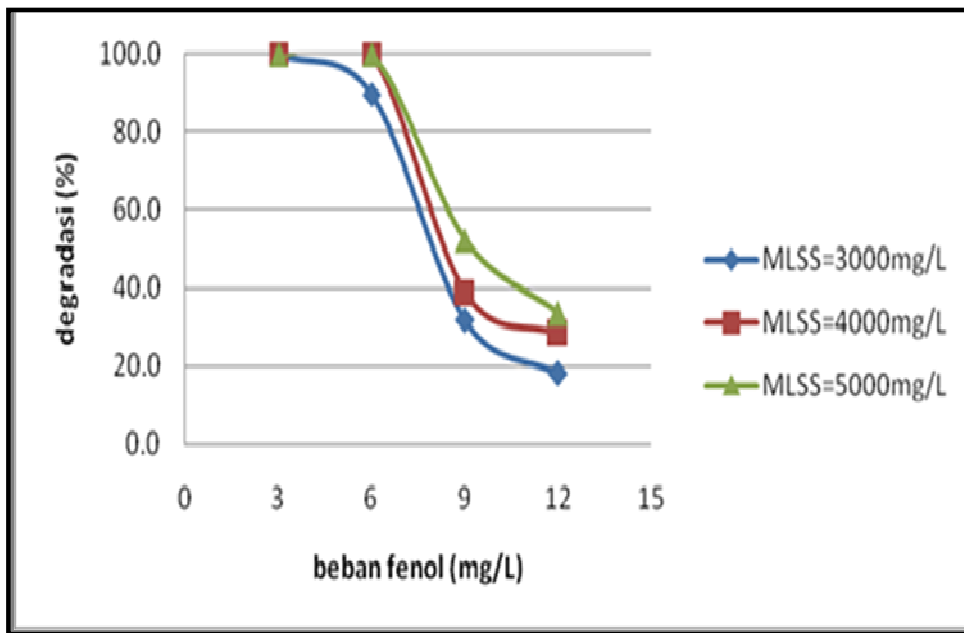
Hasil tersebut di atas digambarkan dalam grafik di bawah ini :



Gambar 5. Grafik Pengaruh Beban Fenol Terhadap Penurunan COD Limbah pada Variabel MLSS yang Berbeda.

- Pada beban fenol awal 3, 6, 9, 12 mg/l, semakin besar MLSS, penurunan kadar fenol dalam limbah cenderung semakin meningkat.

Hasil tersebut di atas digambarkan dalam grafik di bawah ini :



Grafik 6. Grafik Pengaruh Beban Fenol terhadap Penurunan Fenol limbah pada Variabel MLSS yang berbeda

4.2 Pembahasan

Pada penelitian ini dipelajari penurunan COD dan fenol pada limbah secara simultan menggunakan lumpur aktif biakan campuran anaerob dari pupuk kandang dengan sistem kontinyu selama enam jam pada bak bersekat anaerob.

4.2.1 Pengaruh Beban Fenol dan Konsentrasi MLSS Terhadap Penurunan COD Limbah

Grafik 4.1 menunjukkan bahwa penurunan COD limbah meningkat dari beban fenol 0 mg/L hingga 6 mg/L tetapi mengalami penurunan pada beban fenol lebih dari 6 mg/L. Penurunan COD pada beban fenol 3 mg/L dan 6 mg/L lebih bagus daripada penurunan COD tanpa penambahan fenol (0 mg/L). Hal ini karena adanya fenol digunakan sebagai sumber makanan khususnya sebagai sumber carbon bagi mikroba yang terdapat pada lumpur aktif. karbon sangat berperan dalam perkembangbiakan mikroba sehingga semakin banyak fenol, semakin banyak pertumbuhan mikroba sehingga semakin banyak limbah yang dapat didegradasi oleh mikroba. Tetapi pada beban fenol lebih dari 6 mg/L, terjadi penurunan kemampuan mikroba untuk mendegradasi limbah. Meskipun fenol dapat menjadi sumber makanan bagi mikroba, namun pada konsentrasi tinggi fenol justru akan menjadi senyawa yang bersifat toksik bagi mikroba. Pada penelitian ini, beban fenol lebih dari 6 mg/L merupakan toksin bagi mikroba dalam

lumpur aktif biakan yang digunakan. Hal ini terlihat dari banyaknya mikroba yang mati sebagai endapan coklat didasar reaktor (Young-Gyun Cho, Sung-Keun Rhee, Sung-Taik Lee, 2000).

Grafik 4.1 juga menunjukkan bahwa semakin besar konsentrasi MLSS yang digunakan, penurunan COD akan semakin besar. Semakin besar konsentrasi MLSS berarti semakin banyak jumlah mikroba yang terdapat dalam lumpur aktif sehingga semakin banyak limbah yang terdegradasi oleh mikroba dan penurunan COD semakin besar (Young-Gyun Cho, Sung-Keun Rhee, Sung-Taik Lee, 2000).

4.2.2 Pengaruh Beban Fenol dan Konsentrasi MLSS pada Biodegradasi Fenol

Pengaruh beban fenol pada biodegradasi phenol dengan menggunakan lumpur aktif ditunjukkan pada grafik 4.2. Fenol dengan konsentrasi 3 dan 6 mg/L hampir secara keseluruhan terdegradasi dengan efisiensi penurunan phenol 89.7-99.87%. Tetapi pada beban fenol lebih dari 6 mg/L, kemampuan lumpur aktif mendegradasi fenol menurun dengan efisiensi penurunan fenol sebesar 18-52%. Hal ini menunjukkan bahwa lumpur aktif biakan campuran dari pupuk kandang efektif untuk pengolahan limbah dengan kadar phenol rendah (kurang dari 6 mg/L) tetapi kurang efektif pada beban fenol tinggi (lebih dari 6mg/L). Fenol pada konsentrasi rendah akan digunakan oleh mikroba sebagai makanan dan terdegradasi dalam tubuh mikroba menjadi bahan-bahan yang tidak berbahaya seperti asam asetat, gas metana dan karbondioksida (Thomas and Ward 1989). Timbulnya gas tersebut dapat diketahui dari munculnya gelembung-gelembung gas pada permukaan reactor yang digunakan dan bau asam yang ditimbulkan. Sedangkan fenol pada konsentrasi tinggi justru akan menjadi racun/toksin bagi mikroba yang dapat mematikan atau menghambat kemampuan mikroba untuk mendegradasi fenol.

Pengaruh konsentrasi MLSS pada penurunan fenol limbah juga dapat dilihat pada grafik 4.2. Semakin besar konsentrasi MLSS, semakin besar penurunan fenol. Semakin besar konsentrasi MLSS berarti semakin banyak jumlah mikroba yang memanfaatkan fenol sebagai sumber makanan dan mendegradasi fenol tersebut sehingga penurunan fenol semakin besar (Young-Gyun Cho, Sung-Keun Rhee and Sung-Taik Lee, 2000)

4.2.3 Pengaruh Mikronutrient Cu Terhadap Penurunan COD dan Fenol

Penurunan COD dan fenol yang optimum diperoleh pada variabel beban fenol 6 mg/L dan konsentrasi MLSS 5000mg/L. Pada variabel yang optimum tersebut, lumpur

aktif yang digunakan diadaptasi dengan penambahan Cu sebesar 50µg/L. Dari penelitian diperoleh penurunan COD sebesar 55,07% dan penurunan fenol sebesar 28,03%. Penambahan Cu dimanfaatkan oleh mikroba sebagai sumber mikronutrien sehingga penurunan COD meningkat menjadi 55,07% (Metcalf & Eddy, 2004).

Sebaliknya penambahan Cu justru merupakan inhibitor dalam penurunan fenol sehingga menurunkan degradasi fenol dari 99,93% menjadi 28,03%. Biodegradasi suatu senyawa dapat berubah dengan adanya kontaminan lain tergantung dari karakteristik atau kemampuan mikroba yang digunakan untuk mendegradasi senyawa toksik organik dengan adanya kontaminan toksik yang lain (Beltrame et al. 1984; Schmidt et al. 1987; Zaidi and Mehta 1995). Penambahan Cu atau kehadiran senyawa lain akan menambah jumlah toksin dalam limbah yang akan mengurangi kemampuan mikroba dalam mendegradasi fenol. Hal ini berarti penurunan fenol dan COD tergantung konsentrasi toksin yang ada pada limbah dan kemampuan mikroba yang digunakan (Young-Gyun Cho, Sung-Keun Rhee, Sung-Taik Lee, 2000).

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Setelah dilakukan penelitian pengolahan limbah cair dengan menggunakan lumpur aktif biakan campuran dari pupuk kandang secara anaerob dengan reactor kontinyu skala laboratorium dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut :

- Efisiensi penurunan (% reduksi) COD berkisar antara 21,84-55% dan efisiensi penurunan fenol berkisar antara 18-99,87%.
- Penurunan COD limbah meningkat dari beban fenol 0 mg/L hingga 6 mg/L tetapi mengalami penurunan pada beban fenol lebih dari 6 mg/L.
- Lumpur aktif biakan campuran dari pupuk kandang efektif untuk menurunkan kadar fenol pada pengolahan limbah dengan kadar fenol rendah (kurang dari 6 mg/L) tetapi kurang efektif pada beban fenol tinggi (lebih dari 6mg/L)
- Semakin besar MLSS maka persentase penurunan COD dan fenol semakin besar.
- Penambahan Cu meningkatkan persentase penurunan COD tetapi merupakan inhibitor dalam penurunan fenol.

5.2 Saran

Kadar effluent limbah parameter cemaran masih diatas baku mutu sehingga perlu dilakukan pengolahan lanjut seperti dengan proses koagulasi, aerobik, atau oksidasi dengan peroksida. Selain itu waktu operasi sebaiknya dibuat lebih lama sehingga fenol dapat terdegradasi lebih sempurna.