

PENGOLAHAN LIMBAH CAIR KADAR COD DAN FENOL TINGGI DENGAN PROSES ANAEROB DAN PENGARUH MIKRONUTRIENT Cu : KASUS LIMBAH INDUSTRI JAMU TRADISIONAL

Nurita Ika Milasari, Sukma Budi Ariyani, Indro Sumantri
Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro
Jalan Prof. Sudharto, SH, Tembalang, Semarang 50239

Abstrak

Industri jamu merupakan salah satu industri yang menghasilkan limbah cair dengan tingkat pencemaran yang tinggi, kadar COD 3000-4000 mg/L dan beban fenol lebih dari 9 mg/L. Salah satu cara pengolahan limbah cair yang cukup efektif adalah pengolahan secara biologis dengan menggunakan lumpur aktif pada kondisi anaerob. Penelitian ini bertujuan untuk mencari pengaruh variabel MLSS dan beban phenol, efisiensi penurunan kadar COD dan phenol pada sistem pengolahan limbah anaerob, dan pengaruh penambahan mikronutrient Cu terhadap penurunan kadar COD dan phenol pada variabel yang optimum. Percobaan ini dilakukan dengan limbah jamu sintetik dengan kadar COD sebesar ± 3610 mg/L, waktu tinggal 6 jam pada suhu 30°C , tekanan atmosfer dalam reaktor bersekat anaerob secara kontinyu. Volume reaktor 60 L, kadar MLSS sebesar 3000; 4000; 5000 mg/L, beban fenol sebesar 0; 3; 6; 9; 12 mg/L dan kadar mikronutrient Cu sebesar $50 \mu\text{g/L}$. Hasil penelitian menunjukkan limbah cair kadar COD dan fenol tinggi dapat diolah menggunakan lumpur aktif (biakan campuran dari pupuk kandang) secara anaerobik dengan reactor bersekat dengan waktu enam jam dengan persen penurunan (% reduksi) COD berkisar antara 21,84-55. Lumpur aktif biakan campuran dari pupuk kandang efektif untuk pengolahan limbah dengan kadar phenol rendah (kurang dari 6 mg/L) dengan efisiensi penurunan phenol 89,7-99,87% tetapi kurang efektif pada beban fenol tinggi (lebih dari 6mg/L) dengan efisiensi penurunan fenol sebesar 18-52%. Semakin besar konsentrasi MLSS menunjukkan persentase penurunan COD dan fenol yang semakin besar. Penambahan Cu meningkatkan persentase penurunan COD tetapi merupakan inhibitor dalam penurunan fenol.

Kata kunci : limbah cair jamu, anaerob, lumpur aktif, mikronutrien, fenol

Pendahuluan

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.

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).

Air limbah dengan kandungan COD, BOD tinggi secara biologis dapat diolah secara aerobik maupun anaerobik (Mayor Fitchko, 1992). Phenol dapat juga terdegradasi pada kondisi anaerobik oleh bakteri methanogenesis. Secara teknis pengolahan secara anaerobik lebih sederhana, murah, dan relative tidak memerlukan perawatan sehingga untuk pengolahan air limbah digunakan proses anaerobik.

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.

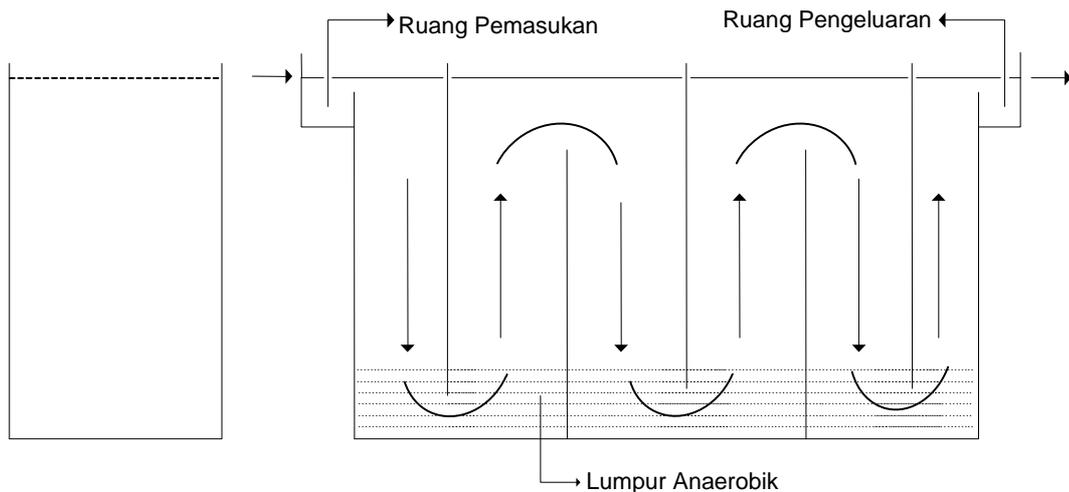
Salah satu parameter yang sering digunakan dalam pengolahan limbah cair sistem lumpur aktif adalah Mixed Liquor Suspended Solids (MLSS) yaitu jumlah dari bahan organik dan mineral berupa padatan terlarut, termasuk mikroorganisme di dalam mixed liquor (Sutapa DAI, 1999).

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. Logam berat seperti Hg, Ag, Cu, Au, dan Pb, Zn, Mn, Co, Se, Ni adalah sumber sumber mikro nutrient yang penting bagi mikroba. Penggunaan mikronutrient adalah 1-100 µg/L (Perry's Chemical Engineers' Handbook, 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).

Logam berat juga 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).



Gambar 1. Bak Bersekat Anaerobik

Variabel Penelitian

Tabel 1. Tabel Variabel Penelitian

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

Respon Pengamatan

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

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.

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.

Bahan Mikroba, Limbah Sintetis dan Bahan Lainnya

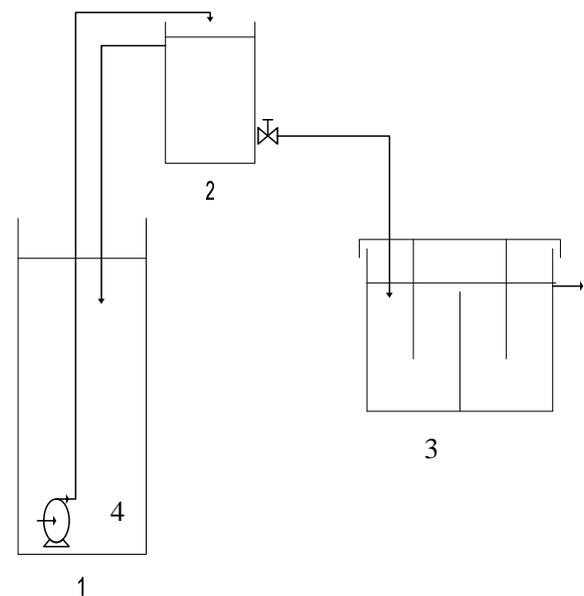
Mikroba yang digunakan adalah mikroba anaerob biakan campuran yang diperoleh dari pupuk kandang Sekawan produksi Sekar Wangi, dibeli dari pasar Kalisari.

Air Limbah Industri jamu Sintetis 60 liter dibuat dari mencampurkan air, pati dan fenol. Pati diperoleh dari Laboratorium Pengolahan Limbah Teknik Kimia Universitas Diponegoro Semarang, Fenol

dibeli dari Laboratorium Kimia Dasar Teknik Kimia Universitas Diponegoro Semarang.

Bahan-bahan lainnya seperti urea dan TSP diperoleh dengan membeli di UD. Indrasari sedangkan aquadest dibeli dari Laboratorium Proses Teknik Kimia Universitas Diponegoro Semarang.

Gambar Alat



Gambar 2. Rangkaian Alat Penelitian

Keterangan Gambar:

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

Aklimatisasi Lumpur aktif

Masukkan lumpur aktif ke dalam bioreaktor. Tambahkan air limbah yang sudah diencerkan 1:4, selanjutnya berturut-turut kadar air limbah diturunkan 1:3, 1:2, 1:1 dan limbah tanpa pengenceran. Kemudian ditambahkan pupuk urea dan TSP sebagai sumber N dan P dengan rasio = COD : N : P = 300 : 5 : 1. Tambahkan mikronutrient yaitu Cu 50 µg/L. Seeding dilakukan kurang lebih selama 2 minggu.

Metode analisa Fenol dan COD

Analisa kadar fenol dilakukan dengan menggunakan spektrofotometer.

Sedangkan analisa kadar COD dilakukan dengan metode Permanganometri

Metode Penelitian

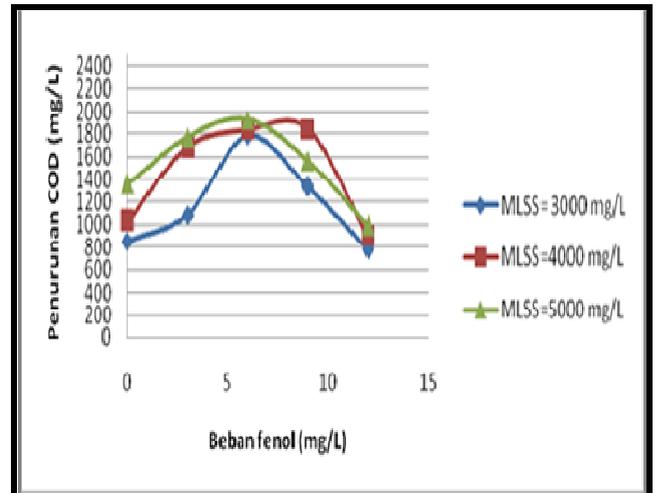
Lumpur aktif yang telah di seeding, dianalisa MLSS nya hingga sesuai dengan variabel. Masukkan lumpur aktif kedalam tangki lumpur aktif. Membuat limbah cair jamu sintetik sebanyak 60 liter dalam tandon feed. Alirkan feed (limbah cair sintetik) dari tandon feed menggunakan pompa ke tangki feed konstan lalu atur laju alir feed sesuai dengan variabel, tunggu sampai overflow. 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 mikronutient Cu pada saat seeding lumpur aktif dengan kadar 50 $\mu\text{g/L}$ untuk mengolah limbah pada variabel yang penurunan COD dan fenolnya optimal.

Hasil dan Pembahasan

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

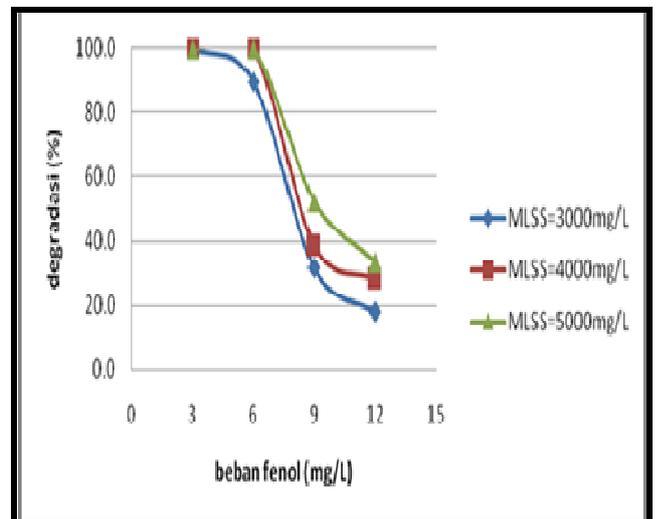
- Pada beban fenol awal 0, 3, 6 mg/l, semakin besar MLSS, penurunan COD limbah semakin meningkat. Sedangkan pada beban fenol awal 9,12 mg/l, semakin besar MLSS, penurunan COD limbah cenderung semakin menurun.

Hasil tersebut di atas digambarkan dalam grafik di bawah ini :



Gambar 3. 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 berikut :



Grafik 4. Grafik Pengaruh Beban Fenol terhadap Penurunan Fenol limbah pada Variabel MLSS yang berbeda.

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.

4.1.1 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

Grafik 3 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).

4.1.2 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).

4.1.3 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% (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).

Kesimpulan

Setelah dilakukan penelitian pengolahan limbah cair kadar COD dan fenol tinggi dengan menggunakan lumpur aktif biakan campuran dari pupuk kandang secara anaerob dengan reactor kontinyu skala laboratorium waktu tinggal 6 jam 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 6 mg/l).
- Semakin besar MLSS maka persentase penurunan COD dan fenol semakin besar.
- Penambahan Cu meningkatkan persentase penurunan COD tetapi merupakan inhibitor dalam penurunan fenol.

Saran

Kadar effluent limbah parameter cemaran masih di atas 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.

Daftar Pustaka

- Balfanz J & Rehm HJ, 1991, *Biodegradation of 4-chlorophenol by adsorptive immobilized Alcaligenes sp. A 7-2 in soil*, Appl. Microbiol. Biotechnol, 35: 662–668.
- Bambang Triono Basuki, 2001, *Pengolahan Limbah Cair Tank Cleaning Tangki Timbun Instalasi Pertamina UPPDN IV Semarang*, Jurnal Reaktor, Teknik Kimia, Universitas Diponegoro, Semarang.
- Beltrame P, Beltrame PL & Carniti P, 1984, *Inhibiting action of chloro- and nitrophenols on biodegradation of phenol: A structure-toxicity relationship*. Chemosphere 13: 3–9.
- C. Totok Sutrisno, Eni Suciastuti, 2004, *Teknologi Penyediaan Air Bersih*, edisi 5, PT. RINEKA CIPTA, Jakarta.
- Driyanti Rahayu, 2007, *Produksi Polihidroksialkanoat Dari Air Limbah Industri Tapioka dengan Sequencing Batch Reaktor*, Jurnal Penelitian Fakultas Farmasi, Universitas Padjadjaran, Bandung.
- Dwi Suryanto, 2003, *Biodegradasi Aerobik Senyawa Hidrokarbon Aromatik Monosiklis oleh Bakteri*, Program Studi Biologi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Sumatera Utara.
- Hammer, Mark J, 1931, *Water and Wastewater Technology*, John Wiley & Sons, Inc, New York.
- Ignasius DA. Sutapa, 1999, *Lumpur Aktif : Alternatif Pengolah Limbah Cair*, Jurnal Studi Pembangunan, Kemasyarakatan & Lingkungan; No.3; 25-38, Peneliti Puslitbang Limnologi-LIPI, Cibinong.
- Ignasius DA. Sutapa, 2000, *Teori Bioflokulasi Sebagai Dasar Pengelolaan Sistem Lumpur Aktif*, Jurnal Studi Pembangunan, Kemasyarakatan & Lingkungan, Vol. 2, No.1; 76-83, Peneliti Puslitbang Limnologi-LIPI, Cibinong.
- Metcalf and Eddy, 2004, *Wastewater Engineering*, 4th edition, Mc Graw Hill International Editions, New York.
- Robert H. Perry, 1997, *Perry's Chemical Engineers' Handbook*, 7th edition,, Mc Graw Hill International Editions, New York.
- Schmidt SK, Scow KM & Alexander M, 1987, *Kinetics of p-nitrophenol mineralization by a Pseudomonas sp.: Effects of secondary substrates*. Appl. Environ. Microbiol. 53: 2617–2623
- Sri Sumarsih, 2003, *Diktat Kuliah Mikrobiologi Dasar*, Ilmu Tanah, Universitas Veteran, Yogyakarta.
- Thomas JM & Ward CH, 1989, *In situ Bioremediation of Organic Contaminants in the Subsurface*. Environ. Sci. Technol. 23: 760–766.
- Young-Gyun Cho, Sung-Keun Rhee and Sung-Taik Lee, 2000, *Influence of Phenol on Biodegradation of p-Nitrophenol by Freely Suspended and Immobilized Nocardioides sp.NSP41*, Biodegradation, 11:21-28.
- Y.P. Ting, *H. Imai and S. Kinoshita, 1994, *Effect of Shock-Loading of Heavy Metals on Total Organic Carbon and Phosphat Removal in an Anaerobic- Aerobic Activated Sludge Process*, World Journal of Microbiology & Biotechnology.
- Zaidi BR & Mehta NK, 1995, *Effects of organic compounds on the degradation of p-nitrophenol in lake and industrial wastewater by inoculated bacteria*. Biodegradation 6: 275–281.