

PENURUNAN KADAR FENOL PADA KASUS LIMBAH INDUSTRI JAMU DENGAN METODE LUMPUR AKTIF SECARA ANAEROB

(Decreased Levels of Fenol in the Case of Traditional Herb Industry using Anaerobic Activated Sludge Method)

Sukma Budi Ariyani

Baristand Industri Pontinak Jl. Budi Utomo No. 41 Pontianak 78243
sukma_ariyani@yahoo.co.id

ABSTRACT. *Fenol is a hazardous substance that can pollute the environment. Traditional herb Industry is one of industries produces liquid waste with high pollution level, the fenol content more than 9 mg/L. Biological treatment with anaerobic activated sludge method is one effective way of processing waste. This research was aimed to study the effect of MLSS variable and fenol load, the efficiency of fenol decrease in anaerobic waste processing system. The experiment is conducted by synthetic herbs waste with COD content of ± 3610 mg/L, retention time of 6 hours at a temperature of 30°C , atmospheric pressure in anaerobic baffle reactor continuously. The reactor volume is 60 L, the MLSS content of 3000; 4000; 5000 mg/L, fenol load at 0, 3, 6; 9; 12 mg/L. Result of research show that active sludge of mixture breeding from cage manure effective for the processing of waste with the low rate fenol (less than 6 mg/L) with the efficiency of degradation fenol 89,7-99,87% but less be effective at high burden fenol (more than 6 mg/L) with the efficiency of degradation fenol equal to 18-52%. The results obtained compared well with other reduction process.*

Keywords: *active sludge, anaerobic, fenol, herbs waste, MLSS*

1. PENDAHULUAN

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 relatif 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.

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 relatif rendah (Kibret *et. al.*, 2000; Chung *et. al.*, 2003; Kumar *et. al.*, 2005).

Limbah fenol tergolong limbah berbahaya, bersifat racun dan korosif. Apabila mencemari perairan dapat menimbulkan rasa dan bau tidak sedap, serta pada nilai konsentrasi tertentu dapat menyebabkan kematian organisme di perairan tersebut. Selain itu apabila terminum dapat menimbulkan gangguan kesehatan pada manusia seperti gangguan pada otak, paru-paru, ginjal dan limpa serta dapat menyebabkan kegagalan sirkulasi darah dan kematian akibat kegagalan pernafasan. Untuk itu diperlukan suatu pengolahan, sebagai usaha menurunkan kadar fenol dalam air limbah sehingga menjadi aman bagi lingkungan. Dalam hal ini, lebih memfokuskan pada penurunan kadar fenol pada limbah cair yang dikondisikan kadar COD dan fenolnya sama dengan kadar limbah sebenarnya. Data fenol yang ada di atas menunjukkan bahwa kadar fenol pada limbah cair jamu tinggi, jauh di atas ambang batas yang ditentukan.

Fenol adalah bahan toksik yang bisa menghambat proses degradasi biologi oleh mikroba tertentu. Tetapi fenol dapat juga terdegradasi pada kondisi aerobik oleh bakteri methanogenesis. Toleransi pengolahan untuk air limbah industri adalah 500 mg/L, bila melebihi akan sulit untuk diuraikan secara biologis (Metcalf *et. al.*, 2004).

Sistem lumpur aktif adalah sistem yang paling banyak digunakan dalam pengolahan limbah cair (Sutapa, 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 MLSS (*Mixed Liquor Suspended Solids*). MLSS adalah jumlah dari bahan organik dan mineral berupa padatan terlarut, termasuk mikroorganisme di dalam *mixed liquor* (Sutapa, 1999).

Pada sistem lumpur aktif aliran kontinyu (terus menerus limbah yang masuk) pertumbuhan mikroorganismenya sangat berbeda dengan sistem aliran periodik (misal *batch reactor*). Dimana pada aliran terus menerus substrat ditambahkan kontinyu 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, 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 *et. al.*, 2004).

Secara teknis pengolahan secara aerobik lebih sederhana, murah, dan relatif tidak memerlukan perawatan sehingga

untuk pengolahan air limbah digunakan proses aerobik.

Penelitian ini bertujuan untuk mencari pengaruh variabel MLSS dan beban fenol terhadap penurunan kadar fenol pada pengolahan limbah anaerob dan mencari efisiensi penurunan kadar fenol pada sistem pengolahan limbah anaerob.

2. METODE PENELITIAN

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

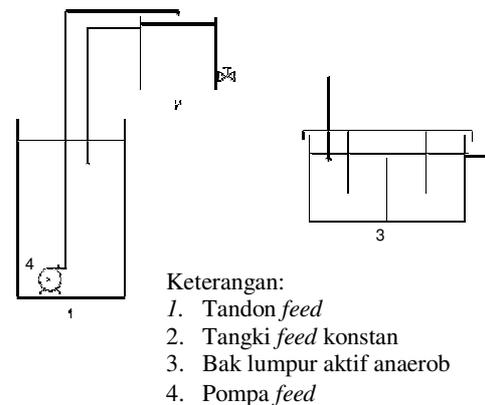
Air Limbah Industri jamu Sintetis 60 liter dibuat dengan cara mencampurkan air, pati dan fenol. Pati diperoleh dari Laboratorium Pengolahan Limbah Teknik Kimia Universitas Diponegoro Semarang. Fenol diperoleh dari Laboratorium Kimia Dasar Teknik Kimia Universitas Diponegoro Semarang.

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

Variabel penelitian terdiri dari variabel tetap dan variabel berubah. Variabel tetap berupa jenis limbah yaitu limbah cair jamu sintetis, volume limbah untuk proses lumpur aktif sebanyak 60 L, suhu kamar, tekanan atmosferik, kondisi proses lumpur aktifnya adalah anaerob, waktu tinggal 6 jam dan kadar COD limbah sintetis ± 3610 mg/L. Variabel berubahnya berupa MLSS (3000; 4000; 5000 mg/L) dan beban fenol (0; 3; 6; 9; 12 mg/L).

Penelitian dilakukan dengan cara melakukan aklimatisasi lumpur aktif. Lumpur aktif dimasukkan ke dalam bioreaktor. Tambahkan air limbah ke dalam bioreaktor. Kemudian ditambahkan pupuk urea dan TSP sebagai sumber N dan P dengan rasio = COD : N : P = 300 : 5 : 1. Penyemaian (*seeding*) dilakukan kurang lebih selama 2 minggu. Lumpur aktif yang telah di *seeding*, dianalisa MLSS-nya hingga sesuai dengan variabel. Lumpur aktif dimasukkan ke dalam tangki lumpur

aktif. Membuat limbah cair jamu sintetis sebanyak 60 liter dalam tandon *feed*. *Feed* (limbah cair sintetis) dialirkan dari tandon *feed* menggunakan pompa ke tangki *feed* konstan lalu laju alir *feed* diatur sesuai dengan variabel, tunggu sampai *overflow*. Jaga pH di tangki lumpur aktif agar pH=7 dengan menambahkan serbuk dolomit sebanyak ± 100 g. Setelah 6 jam, sampel diambil untuk dilakukan analisa fenolnya. Rangkaian alat penelitian dapat dilihat pada Gambar 1.



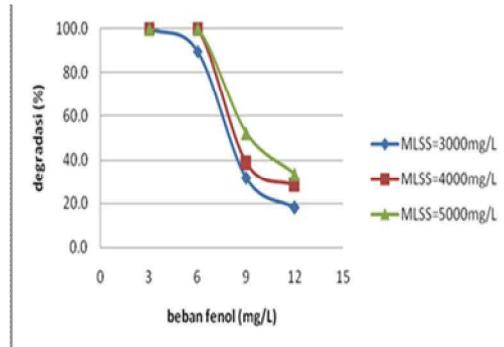
Gambar 1. Rangkaian alat penelitian

Respon yang diamati adalah nilai parameter fenol awal dan akhir limbah. Nilai parameter fenol didapat dengan analisa menggunakan alat spektrofotometri. Hasil penelitian yang diperoleh dianalisa dengan metode deskriptif yaitu dengan mengumpulkan data-data yang diperlukan (data fenol) pada berbagai variabel (MLSS dan beban fenol) yang telah ditentukan, kemudian data-data dari variabel tersebut diplot dalam sistem koordinat x-y. 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.

Pada penelitian ini dipelajari penurunan fenol pada limbah secara simultan menggunakan lumpur aktif biakan campuran anaerob dari pupuk kandang dengan sistem kontinyu selama 6 jam pada bak bersekat anaerob.

3. 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 yaitu pada beban fenol awal 3; 6; 9; 12 mg/L, semakin besar MLSS, penurunan kadar fenol dalam limbah cenderung semakin meningkat. Hasil tersebut dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Pengaruh beban fenol terhadap degradasi fenol MLSS yang berbeda

Pengaruh Beban Fenol dan Konsentrasi MLSS pada Biodegradasi Fenol

Pengaruh beban fenol pada biodegradasi fenol dengan menggunakan lumpur aktif ditunjukkan pada Gambar 2. Fenol dengan konsentrasi 3 dan 6 mg/L hampir secara keseluruhan terdegradasi dengan efisiensi penurunan fenol 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 fenol rendah (kurang dari 6 mg/L) tetapi kurang efektif pada beban fenol tinggi (lebih dari 6 mg/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 *et. al.*, 1989). Timbulnya gas tersebut dapat diketahui dari munculnya gelembung-gelembung gas pada permukaan reaktor yang digunakan dan bau asam yang

ditimbulkan. Sedangkan fenol pada konsentrasi tinggi justru akan menjadi racun bagi mikroba yang dapat mematikan atau menghambat kemampuan mikroba untuk mendegradasi fenol.

Pada Gambar 2 dapat dilihat bahwa 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 *et. al.*, 2000).

Analisa Degradasi Fenol dan Beberapa Metode Lain Untuk Menurunkan Kadar Fenol

Pengolahan limbah cair umumnya menggunakan proses biologis dengan lumpur aktif untuk mendegradasi limbah organik. Awalnya bahan toksik seperti senyawa fenol diduga tidak dapat diuraikan dengan sistem lumpur aktif. Untuk mendegradasinya, dilakukan pengkombinasian dengan sistem ozonisasi. Pada sistem ini sebagian endapan lumpur diambil untuk melalui proses ozonisasi dalam *chamber* ozon proses. Selanjutnya endapan lumpur tadi dikembalikan pada *chamber* lumpur aktif. Melalui proses ozonisasi endapan lumpur tadi menjadi material yang mudah untuk diuraikan dan direduksi oleh mikroorganisme. Dalam *chamber* lumpur aktif bersamaan dengan proses penguraian air limbah material oleh mikroorganisme, terjadi pula proses penguraian endapan lumpur hasil proses tersebut, sehingga tercipta sistem praktis pengolahan air limbah. Dengan kemampuan multifungsi yang dimilikinya, ozon dapat menguraikan endapan lumpur yang sebagian besar kandungannya adalah bakteri dan senyawa-senyawa organik seperti fenol, benzene, atrazine, dioxin, dan berbagai zat pewarna organik (Sugiarto, 2006).

Ada pula dilakukan penelitian dengan menambahkan karbon aktif ke dalam lumpur aktif. Untuk mengatasi

pengaruh bahan beracun berbasis fenol seperti 3-bromofenol dan fenol, maka dilakukan teknik adsorpsi, desorpsi dan biodegradasi. Percobaan secara *batch* untuk menguji kemampuan adsorpsi dan desorpsi karbon aktif dilakukan dengan konsentrasi yang berbeda dan kemampuan biodegradasi dilakukan dengan memasukkan target *substances* ke dalam lumpur aktif sebanyak 50 mg/L. Percobaan secara kontinyu dilakukan *shock loading* selama 24 jam dengan konsentrasi *substances* 3-BP dan fenol sebesar 50 mg/L. Hasil penelitian menunjukkan bahwa reaktor PACT telah memberikan kinerja yang sangat baik untuk kedua target *substances* yang digunakan. Pada reaktor kontrol untuk 3-BP total removal sebesar 15,61% meningkat menjadi 66,18% pada reaktor PACT. Sedangkan untuk fenol total removal pada reaktor kontrol sebesar 30,53% dan 76,54% pada reaktor PACT (Heny dkk., 2008). Untuk suatu penelitian menggunakan lumpur aktif kering sebagai biosorben untuk senyawa fenol menunjukkan hasil yang menjanjikan. Kapasitas sorpsi lumpur aktif kering terhadap fenol adalah 98 mg/L (Fransiscus dkk., 2007).

Dengan menggunakan sistem lumpur aktif, ada hal-hal yang mempengaruhi penurunan kadar fenol yang terjadi. Penurunan kadar fenol dapat dipengaruhi oleh lumpur aktif yang digunakan. Belum diidentifikasi jenis-jenis bakteri dalam lumpur aktif. Masing-masing bakteri memiliki kemampuan sendiri-sendiri dalam penyerapan senyawa fenol. Dengan penggunaan lumpur aktif yang berbeda maka efisiensi penyerapan fenol dalam limbah juga berbeda. Masing-masing lumpur aktif memiliki batas penyerapan kadar fenol yang berbeda. 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 *et. al.*, 1995).

Senyawa fenol merupakan senyawa organik yang potensial untuk didegradasi secara oksidasi. Bakteri yang mampu mendegradasi fenol antara lain *Pseudomonas* sp., *Acinetobacter* sp., dan *Arthrobacter* sp. Selain itu berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, bakteri *Serratia* sp. juga mampu mendegradasi senyawa fenol yang terkandung dalam limbah industri.

Degradasi fenol dan homolognya dilakukan oleh berbagai organisme berupa bakteri, jamur, kapang, ganggang, dan tumbuhan tingkat tinggi. Pengetahuan tentang jalur biotransformasi merupakan hal penting untuk melihat resiko pada daerah terkontaminasi dan penerapan perlakuan biologi. Bagaimanapun, jalur yang diamati di laboratorium dengan organisme tanpa aklimatisasi sering berbeda dengan yang diobservasi di lapangan atau pada proses perlakuan dengan konsorsium mikroba yang dipaparkan dalam kontaminan untuk waktu yang lama. Pada kasus kloro-aromatik, alasan lambatnya atau tidak adanya biodegradasi dalam lingkungan disebabkan oleh jumlah yang tidak memadai dari mikroba pendegradasi poliklorofenol dan inhibisi oleh konsentrasi toksik senyawa ini, atau oleh kontaminan lain. Namun kadang-kadang mikroba khusus yang diintroduksi bekerja tidak sesuai dengan harapan, karena faktor seperti ketahanan (*survival*) rendah, predasi, dan pengaturan kemampuan degradasi yang tidak baik. Dapat dikatakan bahwa 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 (Astar, 2008).

Beberapa hal yang mempengaruhi pengolahan limbah cair dengan sistem lumpur aktif, adalah oksigen, nutrisi, komposisi organisme, pH dan temperatur. 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.

Mikroorganisme membutuhkan nutrisi untuk pertumbuhannya. 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* dan mikro *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 *et. al.*, 2004). Sumber mikro *nutrient* yang penting antara lain adalah Zn, Mn, Mo, Se, Co, Cu, dan Ni. Penggunaan mikro *nutrient* adalah 1-100 µg/L (Perry, 1997) karena jika terlalu banyak justru merupakan racun bagi mikroorganisme. Penambahan mikro *nutrient* Cu lebih dari 1 mg/L mengakibatkan efisiensi penurunan TOC menjadi menurun (Ting *et. al.*, 1994).

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. Kondisi pH lingkungan sangat berperan dalam pertumbuhan mikroorganisme terutama bakteri karena derajat keasaman atau kebasaaan 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 H₂SO₄ atau NaOH maupun larutan kapur. 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°C (Hammer, 1931).

4. KESIMPULAN

Pengolahan limbah cair kadar fenol tinggi dengan menggunakan lumpur aktif biakan campuran dari pupuk kandang secara anaerob dengan reaktor kontinyu skala laboratorium pada waktu tinggal 6 jam dapat disimpulkan bahwa efisiensi penurunan fenol berkisar antara 18-99,87%. 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 fenol semakin besar.

DAFTAR PUSTAKA

- Anto Tri Sugiarto, 2006, *Daur Ulang Air Limbah*, Pusat Penelitian KIM-LIPI, Situs Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia.
- Beltrame P, Beltrame PL & Carniti P, 1984, Inhibiting action of chloro- and nitro-fenols on biodegradation of fenol: A structure-toxicity relationship. *Chemosphere*, 13: 3-9.
- Chung TP, Tseng HY, Juang RS, 2003, Mass transfer effect and intermediate detection for fenol degradation in immobilized *Pseudomonas putida* systems. *Process Biochem* 38:1497-1507.

- Hammer, Mark J, 1931, *Water and Wastewater Technology*, John Wiley & Sons, Inc, New York.
- Heny & Rachmawati, 2008, *Studi Kinerja Bioreaktor Pact Pada Pengolahan Limbah Cair Yang Bersifat Toksik Didasarkan Sifat Adsorpsi/Desorpsi Dan Biodegrasi*, Teknik Industri, Institut Teknologi Surabaya, Surabaya.
- 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.
- Ismail Astar, 2008, *Produksi Biogas Dari Biodegradasi Senyawa Fenolik Limbah Tandan Kosong Sawit Menggunakan Reaktor Dua Fase*, <http://imaechem06.blog.com>, (diakses tanggal 25 Agustus 2008).
- Kibret M, Somitsch W, Robra KH, 2000, Characterization of a fenol degrading mixed population by enzyme assay. *Water Res.* 4 : 1127-1134.
- Kumar A, Kumar S, 2002, Biodegradation kinetics of fenol ang catechol using *Pseudomonas putida* MTCC 1194. *Biochem Eng J.*, 6: 45-49.
- 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-nitrofenol mineralization by a *Pseudomonas* sp.: Effects of secondary substrates. *Appl. Environ. Microbiol.* 53: 2617-2623.
- 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 Fenol on Biodegradation of p-Nitrofenol by Freely Suspended and Immobilized *Nocardioides* sp.NSP41, *Biodegradation*, 11:21-28.
- Yunus Fransiscus, Lina Hendrawati dan Maria Agatha Esprianti, 2007, Proses Biosorpsi Cu Dan Fenol Dalam Kondisi Tunggal Maupun Simultan Dengan Menggunakan Lumpur Aktif Kering, *Jurnal Purifikasi*, Vol. 8 :67 - 72.
- 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 Aerobik- Aerobic Activated Sludge Process, *World Journal of Microbiology & Biotechnology*.
- Zaidi BR & Mehta NK, 1995, Effects of organic compounds on the degradation of p-nitrofenol in lake and industrial wastewater by inoculated bacteria. *Biodegradation* 6: 275-281.