

PENGARUH LAJU ALIR AERASI TERHADAP KUALITAS *EFFLUENT* DALAM PENGOLAHAN LIMBAH CAIR INDUSTRI TEPUNG AREN

Rahmayetty, Aryudi Reza dan Dede Fathurrahman

Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik
Universitas Sultan Ageng Tirtayasa
yettyfaith1@yahoo.com

ABSTRAK

Unit pengolahan air limbah konvensional (proses lumpur aktif) memiliki beberapa kelemahan, antara lain level pencemar pada effluent seperti bahan organik, nitrogen, fosfor dan padatan terlarut cukup tinggi sehingga dibutuhkan pengolahan lanjutan, kontak antara air limbah, mikroorganisme dan oksigen yang kurang sempurna, perlu lahan yang luas, dan konsumsi energi yang tinggi. Pengolahan limbah dengan bioreaktor aerasi plat berlubang diharapkan dapat mengatasi kendala pada proses lumpur aktif konvensional dengan memberikan sistem pengolahan air limbah yang efektif, efisien dan memenuhi standar mutu yang ditentukan. Penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan laju alir udara yang optimum terhadap kualitas effluent yang dihasilkan dalam mengolah limbah cair industri tepung aren. Pengolahan limbah industri tepung aren pada penelitian ini menggunakan bioreaktor plat berlubang dengan volume kerja 6 liter, dan sistem dirancang beroperasi kontinyu. Waktu Tinggal Cairan (WTC) yang digunakan adalah 18 jam dengan memvariasikan laju alir aerasi yaitu 2, 4, dan 6 liter/menit. Parameter proses yang diukur adalah BOD, COD, MLSS, pH. Hasil penelitian menunjukkan semakin tinggi laju alir aerasi maka semakin tinggi juga persen penyisihan COD. Persen penyisihan COD yang didapatkan untuk laju alir aerasi 2, 4 dan 6 L/menit masing-masing adalah 63,63; 85,8 dan 86,36%.

Kata Kunci: Bioreaktor plat berlubang, aerasi, limbah cair tepung aren

ABSTRACT

Conventional wastewater treatment units (activated sludge process) has several weaknesses, among others, levels of pollutants in the effluent as organic matter, nitrogen, phosphorus and dissolved solids is high enough so that required further processing, the contact between the waste water, microorganisms and oxygen are less than perfect, it is necessary vast land, and high energy consumption. Aeration bioreactor wastewater treatment with perforated plate is expected to overcome the constraints on conventional activated sludge process by providing wastewater treatment systems that are effective, efficient and meet the specified quality standards. This study aims to obtain an optimum air flow rate on the quality of effluent produced in industrial wastewater palm flour. Palm starch industry wastewater treatment in this study using perforated plate bioreactor with a working volume of 6 liters, and the system is designed to operate continuously. Retention Time (HRT) used is 18 hours with varying the flow rate of aeration of 2, 4, and 6 liters / minute. Measured process parameters are BOD, COD, MLSS, pH. The research shows that the higher the aeration flow rate the higher the percent COD removal. Percent COD removal obtained for aeration flow rate 2, 4 and 6 L/min respective were 63.63, 85.8 and 86.36%.

Keywords: perforated plate bioreactor, aeration, wastewater palm flour

1. Pendahuluan

Industri pati merupakan salah satu industri pangan yang terdapat di Indonesia. Beragam macam bentuk industri pati di Indonesia, diantaranya adalah industri tepung pati tapioka, tepung pati sagu, tepung pati aren. Tepung pati ini merupakan bahan baku maupun bahan pembantu untuk keperluan industri makanan, industri tekstil, industri kertas dan lain-lain. Limbah industri pati banyak mengandung amilum yang bila terlarut dalam air akan menyebabkan turunnya jumlah oksigen terlarut dan menimbulkan bau busuk yang berasal dari proses degradasi bahan organik yang kurang sempurna (Siti Martia, 2006). Limbah industri pati termasuk limbah organik, karena ditimbulkan sebagai sisa dari pengolahan ketela pohon, aren dan sagu yang merupakan salah satu bahan organik. Proses produksi pembuatan tepung aren menghasilkan limbah cair dan limbah padat, begitu juga dengan tepung pati lainnya. Limbah cair berasal dari proses pamarutan/pelepasan pati dari serat yang

membutuhkan air yang sangat banyak, sehingga buangan (limbah cair) yang dihasilkan oleh pabrik pati cukup besar. Limbah cair itu banyak mengandung bahan organik yang cukup tinggi.

Pada umumnya limbah cair ini diolah dengan sistem lumpur aktif konvensional yang masih memiliki berbagai kelemahan seperti memerlukan lahan yang luas dan juga kontak antara air limbah, mikroorganisme dan oksigen yang kurang sempurna karena masalah sistem agitasi dan aerasi. Bioreaktor aerasi plat berlubang dapat dijadikan alternatif dalam menanggulangi segala kelemahan tersebut. Pada bioreaktor plat berlubang akan terjadi degradasi senyawa organik. Lubang pada plat berfungsi untuk menyempurnakan kontak antara air limbah, mikroorganisme dan oksigen, dengan aliran *counter current* (berlawanan arah). Pada proses ini campuran air limbah dan mikroorganisme dialirkan dari atas dan udara dialirkan dari bawah bioreaktor.

Keberhasilan proses degradasi senyawa organik di dalam air limbah, salah satunya sangat dipengaruhi oleh banyaknya oksigen yang diberikan dan yang terlarut di dalam air limbah tersebut. Rahmayetty (2004) mengolah limbah cair minyak kelapa sawit dengan laju alir udara 6, 18 dan 30 liter/menit. Didapatkan persen penyisihan COD mencapai 78,8%. Melihat hasil penelitian bioreaktor aerasi plat berlubang yang cukup baik, maka perlu diadakannya penelitian lanjutan dengan penggabungan sistem agitasi dan aerasi yang sinergis pada bioreaktor aerasi plat berlubang untuk memperoleh kondisi optimum pada proses degradasi limbah cair ini.

2. Fundamental

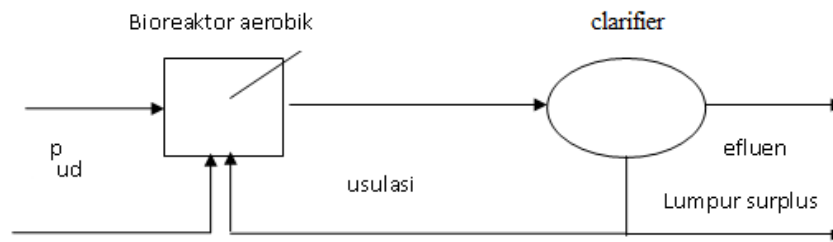
Industri tepung aren merupakan salah satu industri yang menghasilkan limbah padat dan cair dalam jumlah melimpah yang cukup dapat menimbulkan masalah lingkungan. Hasil limbah dari 2/3 pengolahan tepung pati sebesar 75%, limbah ini berupa padat dan cair. Limbah cair tepung aren merupakan limbah yang dihasilkan dari proses pembuatan, baik dari pencucian bahan baku sampai pada proses pemisahan pati dari airnya atau proses pengendapan. Komposisi limbah cair tepung aren dapat dilihat pada tabel 2.1.

Tabel 2.1 Komposisi Limbah Cair Tepung Aren

Komponen	Konsentrasi (mg/l)
Besi (Fe)	10,05
Mangan (Mn)	0,11
Tembaga (Cu)	0,121
Seng (Zn)	0,305
Kromium (Cr)	0,003
Kadmium (Cd)	0,002
Timbal (Pb)	0,03
Stanum (Sn)	0,173
Arsen	< 0,02
Selenium (Se)	0,051
Nikel (Ni)	0,1
Kobalt (Co)	0,03
Amoniak bebas (NH ₃)	24,822
Nitrat, sebagai N (NO ₃)	1,185
Fenol	0,172
Minyak & Lemak	60
Zat padat terlarut (TDS)	2410

Sumber : Jurnal Infrastruktur dan Lingkungan
Binaan Vol. 1 No.2, Desember 2005

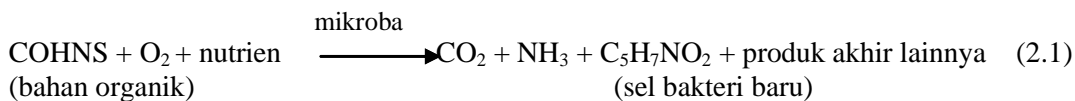
Secara operasional, penanganan limbah secara biologis dengan menggunakan proses lumpur aktif ditunjukkan dalam gambar 2.1.



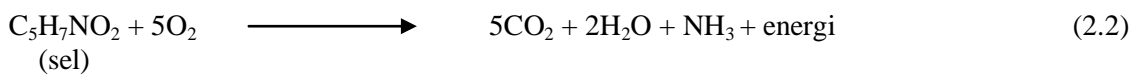
Gambar 2.1 Skema Proses Lumpur Aktif

Limbah organik diumpankan ke dalam reaktor dimana kultur mikroba aerobik dipertahankan dalam keadaan tersuspensi. Di dalam reaktor terjadi reaksi sebagai berikut :

Oksidasi dan sintesis :



Respirasi endogen :



Komponen utama dari proses lumpur aktif adalah sebuah bioreaktor aerobik. Seperti terlihat pada gambar 2.1, bioreaktor terhubung dengan sebuah *clarifier* atau bak sedimentasi. Lumpur aktif yang terkumpul pada bagian bawah *clarifier* sebagian dikembalikan ke dalam bioreaktor untuk menjaga agar konsentrasi lumpur di dalam bioreaktor meningkat. Lumpur sebagian lagi dibuang untuk menjaga agar tidak terjadi akumulasi lumpur dalam bioreaktor. Cairan jernih yang masih mengandung zat-zat organik dalam jumlah rendah dikeluarkan sebagai *efluen* dari *clarifier* (Metcalf dan Eddy, 1991).

Lumpur aktif termasuk salah satu jenis pengolahan biologis, dimana mikroorganisme berada dalam pertumbuhan tersuspensi. Prosesnya memerlukan oksigen untuk reaksi biologisnya. Kebutuhan oksigen dapat dipenuhi dengan cara mengalirkan udara kedalam reaktor, sehingga terlarut dalam cairan limbah oksigen lebih besar dari 2,0 mg/l. Jumlah ini merupakan kebutuhan minimum yang diperlukan oleh mikroba di dalam Lumpur aktif. Komponen utama dari proses lumpur aktif adalah sebuah bioreaktor aerobik. Bioreaktor terhubung dengan sebuah *clarifier* atau bak sedimentasi. Lumpur aktif yang terkumpul pada bagian bawah *clarifier* sebagian dikembalikan ke dalam bioreaktor untuk menjaga agar konsentrasi lumpur di dalam bioreaktor meningkat. Lumpur sebagian lagi dibuang untuk menjaga agar tidak terjadi akumulasi lumpur dalam bioreaktor. Cairan jernih yang masih mengandung zat-zat organik dalam jumlah rendah dikeluarkan sebagai *efluen* dari *clarifier* (Metcalf dan Eddy, 1991).

Proses lumpur aktif memanfaatkan jasa mikroorganisme campuran untuk menguraikan bahan-bahan organik yang ada di dalam air limbah. Keberhasilan proses pengolahan sangat tergantung pada aktifitas biologis dari mikroba yang ada, sehingga perlu dirancang proses yang menjamin keberlangsungan pertumbuhan mikroba. Beberapa parameter yang sering digunakan dalam perancangan proses lumpur aktif yaitu waktu tinggal sel, faktor pembebanan dan kebutuhan oksigen.

Untuk mendapatkan hasil yang baik pada proses pengolahan secara aerob perlu diperhatikan beberapa pertimbangan antara lain (Sugiharto, 1997):

1. Banyaknya udara yang diberikan setiap m³ air limbah adalah sebanyak 8-10 m³.
2. Sebaiknya air limbah berada pada tangki aerasi adalah selama 6 – 8 jam.
3. Banyaknya udara yang harus disediakan dibandingkan dengan derajat pengotoran air limbah yang ada adalah sebesar 40-80 m³ udara untuk setiap kg BOD. Untuk itu diperlukan rumus perhitungan sebagai berikut

$$\frac{\text{Banyaknya udara dalam } m^3/\text{hari}}{\text{BOD dari air limbah} \times \text{Vol.} \frac{\text{limbah}}{\text{hari}} (m^3)} = 40 - 80 \frac{m^3}{kg} BOD \quad (2.1)$$

4. Waktu Tinggal Padatan (WTP) dari lumpur adalah sebesar 8 hari. Untuk menghitung besarnya WTP dipergunakan patokan :

$$WTP = \frac{VX}{X_r Q_w + X_e Q_e} \quad (2.2)$$

Dimana :

- V = volume bak aerasi, liter
- X = MLSS di dalam bak aerasi, mg/l
- X_r = MLSS resirkulasi, mg/l
- Q_w = laju pembuangan lumpur, l/hari
- Q_e = laju alir volumetris keluaran bak sedimentasi, l/hari
- X_e = MLSS keluaran bak sedimentasi, mg/l

Waktu Tinggal Padatan (Solid Retention Time, WTP) didefinisikan sebagai waktu tinggal rata-rata mikroba di dalam bak aerasi. WTP dikendalikan dengan cara pembuangan lumpur. Lumpur dapat dibuang dari bawah bak sedimentasi maupun dari bak aerasi secara langsung. Volume lumpur yang dibuang tergantung pada WTP yang diinginkan. WTP yang semakin besar dikendalikan dengan laju pembuangan lumpur yang semakin kecil.

5. F/M rasio yaitu perbandingan antara makanan *dan* mikroorganisme sebesar 0,2 – 0,3 kg BOD/kg bakteri. Untuk itu dipergunakan rumus :

$$\frac{F}{M} = \frac{BOD \text{ limbah} \times \text{debit} \frac{\text{limbah}}{\text{hari}} (m^3)}{MLSS \times \text{Vol.} \text{tangki aerasi} (m^3)} = \text{harus menghasilkan angka } 0,2 - 0,3 \quad (2.3)$$

Metabolisme adalah rangkaian proses dan reaksi konversi biokimia yang berlangsung di dalam sel hidup. Metabolisme sel terdiri dari katabolisme dan anabolisme. Katabolisme adalah proses penguraian molekul besar menjadi molekul yang kecil dan menghasilkan energi (reaksi oksidasi). Anabolisme adalah proses sintesis molekul kecil menjadi molekul yang besar dan memerlukan energi (reaksi reduksi).

Pada reaksi katabolisme, elektron dilepaskan dari bahan organik yang sedang dioksidasi. Elektron ini diterima oleh molekul akseptor yang akan tereduksi. Selama proses metabolisme (reaksi katabolisme-anabolisme), selain terjadi perpindahan elektron, juga terjadi proses pengeluaran dan pemasukan energi dari molekul-molekul yang terlibat.

Untuk dapat mempertahankan kelangsungan hidupnya, organisme harus memiliki sumber energi, sumber karbon, nutrisi seperti nitrogen, fosfor, sulfur, kalium, kalsium dan magnesium. Nutrisi organik juga diperlukan untuk sintesis sel.

Dalam proses penanganan limbah cair secara biologis, tujuan utama metabolisme mikroba adalah mereduksi kandungan organik dalam limbah cair. Untuk keperluan ini, organisme kemoheterotrop merupakan organisme yang paling penting karena kemampuannya menggunakan senyawa-senyawa organik sebagai sumber karbon dan energi.

3. Metodologi Penelitian

Limbah cair yang digunakan

Penelitian ini menggunakan air limbah dari salah satu industri tepung aren di Pandeglang, Banten. Limbah tersebut sebelum digunakan pada penelitian ini telah mengalami dua kali pengenceran dengan kadar BOD awal limbah 800 mg/L.

Bioreaktor Plat Berlubang

Bioreaktor tempat mendegradasi bahan-bahan organik secara aerob adalah bioreaktor plat berlubang yang terbuat dari *fleksiglass* dengan diameter 10 cm, panjang 100 cm dan volume efektif bioreaktor 6 liter. Bagian dalam bioreaktor terdapat 6 buah plat dimana di setiap plat terdapat lubang-

lubang dengan diameter setiap lubang adalah 1 cm. Jarak antar plat di dalam bioreaktor adalah 15 cm. Lubang pada plat berfungsi untuk menyempurnakan kontak antara air limbah, mikroorganisme dan udara. Pada bagian dasar bioreaktor dilengkapi *diffuser*. Fungsinya adalah sebagai tempat masuknya udara dari kompresor ke bioreaktor dan untuk mendistribusikan udara sehingga tercipta kondisi aerobik.

Prosedur Percobaan

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Operasi Teknik Kimia (OTK) jurusan Teknik Kimia Universitas Sultan Ageng Tirtayasa. Penelitian diawali dengan tahap penyusunan alat kemudian dilakukan proses pembiakan mikroorganisme dan dilanjutkan dengan pengolahan limbah dengan bioreaktor aerasi plat berlubang. Pada proses pengolahan limbahnya, air limbah diatur sedemikian rupa sehingga laju alir sesuai dengan WTC yang telah ditentukan dan dimasukkan ke dalam bioreaktor. Udara dialirkan dengan kompresor dari bagian bawah kolom dengan debit bervariasi. Keluaran bioreaktor dialirkan ke dalam tangki sedimentasi dan efluen ditampung, sedangkan lumpur dibalikkan kembali ke dalam bioreaktor. Waktu operasi pada pengolahan limbah ini adalah 36 jam.

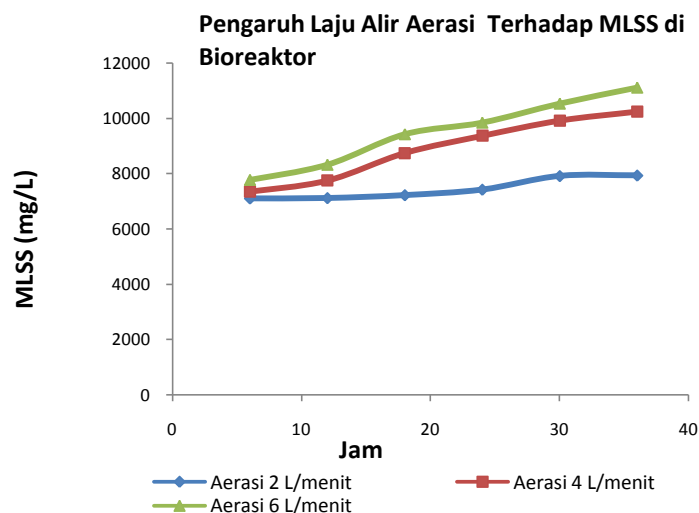
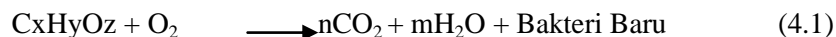
Variabel berubah dalam penelitian ini adalah laju alir aerasi yaitu 2, 4, dan 6 liter/menit. Waktu Tinggal Cairan (WTC) yang digunakan adalah 18 jam. Selama percobaan, analisa yang dilakukan adalah BOD, pH, MLSS, COD umpan, bioreaktor dan efluen. Metode analisa kandungan COD dan konsentrasi MLSS berdasarkan *standard metode* (APHA 1992).

4. Hasil dan Pembahasan

Pada bab ini diuraikan hasil penelitian dan pembahasan mengenai pengaruh laju aerasi terhadap kualitas *effluent* dalam pengolahan limbah cair industri tepung aren dengan bioreaktor aerasi plat berlubang, meliputi pengaruh laju alir aerasi terhadap Mixed Liquor Suspended Solid (MLSS), pH, efisiensi penyisihan COD, dan BOD.

4.1 Pengaruh Laju Alir Aerasi Terhadap Konsentrasi Mixed Liquor Suspended Solids (MLSS)

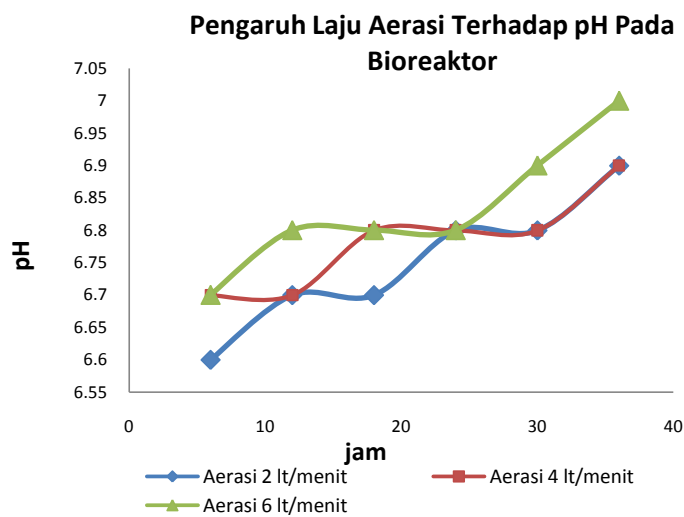
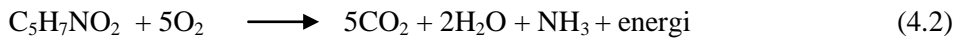
Pengaruh laju alir aerasi terhadap konsentrasi MLSS dapat dilihat pada Gambar 4.1. Pada Gambar 4.1 menunjukkan bahwa MLSS di bioreaktor yang diperoleh dari awal hingga akhir proses selama 36 jam selalu meningkat. Pada aerasi 2 L/menit menunjukkan nilai MLSS antara 7115 – 7943 mg/L, untuk aerasi 4 L/menit menunjukkan nilai MLSS antara 7537 – 10254 mg/L, dan untuk aerasi 6 L/menit menunjukkan nilai MLSS antara 7774 – 11125 mg/L. Kondisi ini menunjukkan adanya perkembangan mikroorganisme yang tumbuh dalam bioreaktor, dimana metabolisme mikroorganisme ini dipengaruhi oleh jumlah substrat sebagai sumber energi dan juga jumlah oksigen yang ditambahkan ke dalam bioreaktor. Bila oksigen yang disuplay ke dalam bioreaktor mencukupi maka proses degradasi biologis akan berjalan dengan optimal. Pada proses aerob 50% senyawa organik akan berubah menjadi CO₂, H₂O dan 50% nya menjadi bakteri baru. Dimana reaksi kimianya adalah:



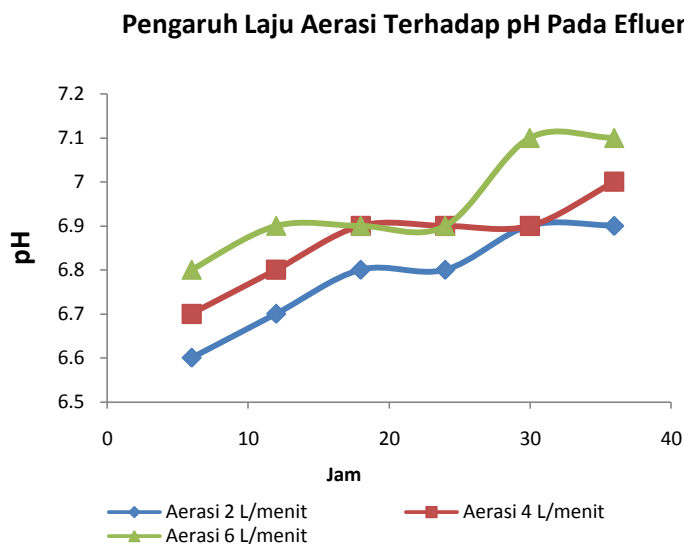
Gambar 4.1 Pengaruh laju aerasi terhadap MLSS di Bioreaktor

4.2 Pengaruh laju aerasi terhadap pH

pH merupakan salah satu faktor yang menentukan keberhasilan suatu proses biologis. Pengaruh laju alir aerasi terhadap pH di bioreaktor dan effluent dapat dilihat pada Gambar 4.2 dan 4.3. Dari pengamatan pH di bioreaktor dan *effluent* pada gambar 4.2 dan gambar 4.3 diatas, selama siklus operasi diperoleh nilai pH di bioreaktor antara 6,6–6,9 untuk laju aerasi 2 L/menit, 6,7–6,9 untuk laju aerasi 4 L/menit, 6,7–7 untuk laju aerasi 6 L/menit. Nilai pH efluen antara 6,6–6,9 untuk laju aerasi 2 L/menit, 6,7–7 untuk laju aerasi 4 L/menit dan 6,8–7,1 untuk laju aerasi 6 L/menit. Nilai tersebut masih merupakan pH yang diinginkan untuk mikroorganism lumpur aktif sehingga mikroorganism dalam bioreaktor dapat tumbuh dengan baik. Pada umumnya mikroorganism lumpur aktif dapat mengkonversi zat organik dengan baik pada kisaran pH 6,5 – 8,5 (Alloway & Flowers, 1994). Peningkatan laju alir aerasi akan menaikkan nilai pH baik pada bioreaktor maupun pada *effluent*. Kenaikan pH tersebut disebabkan karena selama respirasi sel secara aerob menghasilkan amoniak yang dapat menaikkan nilai pH. Respirasi sel dapat didekati dengan persamaan :



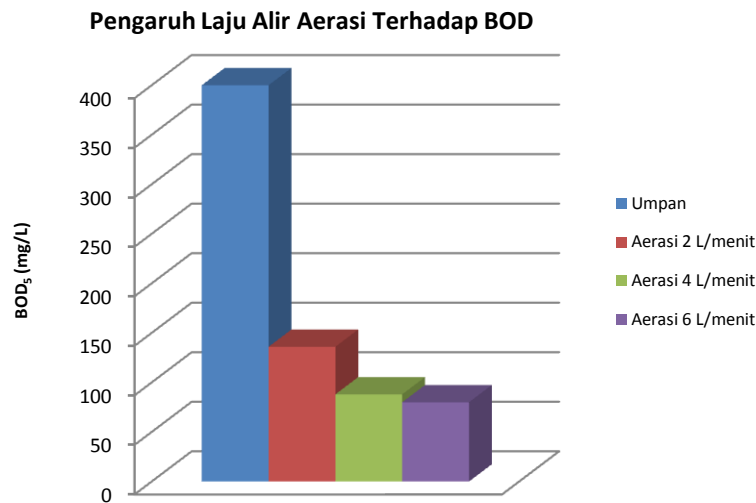
Gambar 4.2 Pengaruh Laju Aerasi Terhadap Nilai pH di Bioreaktor



Gambar 4.3 Pengaruh Laju Aerasi Terhadap Nilai pH Efluent

4.3 Pengaruh laju alir terhadap nilai BOD effluent

Dari pengamatan BOD pada Gambar 4.4 diatas diperoleh laju alir aerasi 2 L/menit dapat menurunkan kadar BOD 264 mg/L, aerasi 4 L/menit dapat menurunkan kadar BOD 312 mg/L dan aerasi 6 L/menit dapat menurunkan kadar BOD 320 mg/L, dengan demikian pemberian aerasi yang cukup menyebabkan mikroorganismenya dalam sistem pengolahan limbah ini berkembang dengan baik dalam mendegradasi bahan buangan organik yang ada dalam air limbah dengan memanfaatkan oksigen dari pemberian aerasi tersebut.

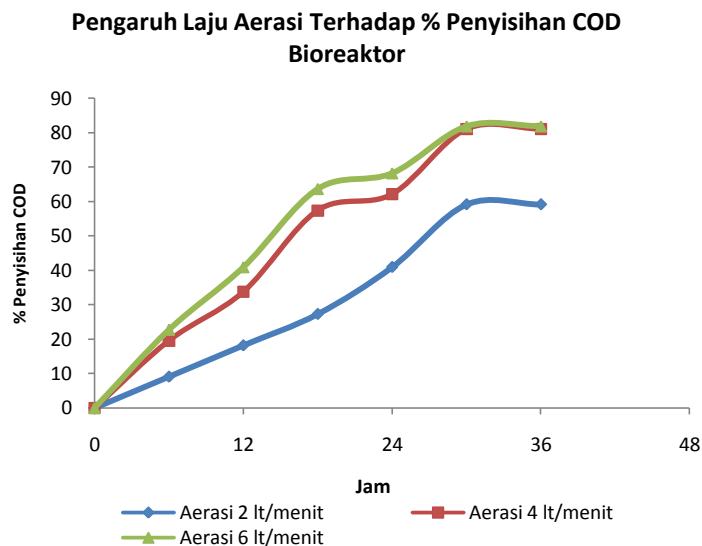


Gambar 4.4 Pengaruh Laju Aerasi Terhadap Nilai BOD

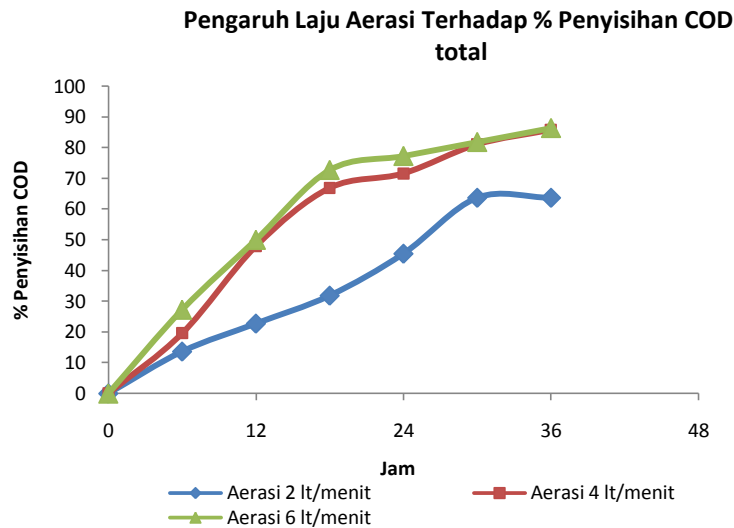
4.4 Pengaruh laju aerasi terhadap efisiensi penyisihan COD

Pengamatan efisiensi penyisihan COD pada penelitian ini meliputi efisiensi penyisihan di dalam bioreaktor dan setelah melalui tahap sedimentasi (efisiensi total penyisihan COD). Hasil pengamatan COD dapat dilihat pada Gambar 4.5 dan 4.6.

Dari gambar 4.5 di atas dapat dilihat bahwa persentase penyisihan COD di bioreaktor hingga akhir operasi menunjukkan persen penyisihan mencapai 63,63% untuk laju alir aerasi 2 L/menit, 81,07% untuk laju alir aerasi 4 L/menit, dan 81,81% untuk laju alir aerasi 6 L/menit. Penyisihan COD total untuk semua tempuhan pada aerasi 2 L/menit mencapai 63,63%, untuk aerasi 4 L/menit mencapai 85,8%, untuk aerasi 6 L/menit mencapai 86,36%. Pengaruh aerasi menunjukkan semakin besar laju alir aerasi yang diberikan akan menaikkan persen penyisihan (menurunkan kadar COD limbah).



Gambar 4.5 Pengaruh Aerasi Terhadap % Penyisihan COD di Bioreaktor



Gambar 4.6 Pengaruh Aerasi Terhadap % Penyisihan COD Total

5 Simpulan dan Saran

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan yang telah dilakukan, maka dapat ditarik beberapa kesimpulan yaitu semakin besar laju alir aerasi yang diberikan maka semakin baik kualitas *effluent* limbah. Pada laju alir aerasi 2, 4 dan 6 L/menit dapat menurunkan kadar BOD masing-masing 264; 312 dan 320 mg/L. Efisiensi total penyisihan COD untuk laju alir aerasi 2, 4 dan 6 L/menit masing-masing adalah 63,63; 85,8 dan 86,36%. Laju alir 6 L/menit merupakan laju alir yang menghasilkan kualitas efluent yang paling baik pada penelitian pengolahan limbah industri tepung aren ini.

6 Daftar Pustaka

- APHA (1992), "Standard Methods for Examination of Water and Wastewater", 18th ed., American Public Health Association, Washington.
- Alloway, Chibby. dan Flowers, Dave., 1994, *Basic Activated Sludge Process Control*, Water Environment Federation, Alexandria.
- Firdayati, Mayrina dan Marisa Handajani. (2005). "Studi Karakteristik Dasar Limbah Industri Tepung Aren". Jurnal Infrastruktur dan Lingkungan Binaan Vol.1, No.2.
- Metcalf dan Eddy. (1991). "Wastewater Engineering: Treatment Disposal Reuse, 3rd ed., McGraw-Hill International Editions. Singapore.
- Rahmayetty. (2004). "Pengaruh Waktu Aerasi dan Debit Udara Pada Pengolahan Limbah Cair Kelapa Sawit". Jurnal Teknik Kimia No.2, Vol.5, hal 17-20.
- Setiadi, Tjandra. (2007). "Pengolahan Dan Penyediaan Air". Institut Teknologi Bandung.
- Sofyan, dkk. (2009). "Pengaruh Waktu Dalam Tinggal dan Waktu Aerasi Terhadap Penurunan Bahan-Bahan Pencemar Limbah Cair Industri Tapioka". Balai Litbang Industri Padang.
- Siti Martia dan Shopiatul Amal. (2006). "Pengolahan Limbah Cair Pati Secara Aerob menggunakan Mikroba Degra Simba", Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro, Semarang.
- Sugiharto. (1987). "Dasar-dasar Pengolahan Air Limbah", Universitas Indonesia