

Pengaruh Cell Residence Time (Crt) Terhadap Kualitas Effluent Pada Pengolahan Limbah Cair Sintetik Tapioka

Rahmayetty, Rudi Hartono, Dhena Ria Barleany dan Nuryoto

Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Sultan Ageng Tirtayasa
Jl.Jend. Sudirman Km. 3 Cilegon-Banten

Abstract

Sintetic Waste water of starch contained in average COD about 12300 mg/L and BOD 10.650 mg/L respectively. Waste water treatment of starch plant using biological treatment and settling commonly. Problem that frequently found in the biological treatment is difficulty in separation of biomass and incomplete contact of waste water with microorganism and oxygen in the system. To overcome those problem is by applying system combination with aeration perforated plate bioreactor and membrane technology. Volume of bioreactor that used is 6 liters. Membran was polysulfon hollow fiber type. Hydraulic Residence Time (HRT) was 24 hours and Cell Residence Time (CRT) was 20, 40 and 60 days. Parameter process that measured is COD, BOD, DO and pH. The result of the research were efficiency COD removal for CRT 20, 40, 60 days can remove COD 92.8, 95.4 and 97.2%. respectively. BOD of effluent was 190-510 mg/L. DO of effluent was 0.5-0.7 mg/L. DO of permeate was 1.3- 1.9 mg/L and pH 6.6 - 6.9 mg/L.

Keywords : Sintetic Waste water of starch, perforated plate bioreactor, membrane

Pendahuluan

Dampak negatif dari pembangunan industri adalah terbentuknya limbah baik berupa limbah cair, padat maupun gas. Komposisi limbah cair antara industri satu dan yang lainnya berbeda-beda. Limbah ini bila langsung dibuang ke perairan akan menyebabkan pencemaran pada badan air penerima.

Salah satu industri yang menghasilkan limbah cair yang mengandung senyawa organik yang tinggi adalah industri tapioka. Sebagian besar air buangan dari proses pembuatan tapioka mengandung pati sisa dari proses dan senyawa-senyawa kimia lain dari proses *bleaching*.

Pada umumnya sistem pengolahan limbah cair industri di Indonesia menggunakan proses biologis konvensional dan dilanjutkan dengan proses pengendapan. Proses pengolahan dengan teknik ini memerlukan energi untuk aerasi yang relatif besar, terbentuknya lumpur yang dapat mengurangi volume kerja dari kolam pengolahan, sehingga membutuhkan lahan yang luas untuk membuka kolam-kolam pengolahan baru. Kelemahan lainnya adalah kontak antara air limbah, mikroorganisme dan oksigen yang kurang sempurna dan terjadinya kehilangan biomassa dalam sistem karena terbawanya biomassa bersama aliran keluaran sehingga jumlah biomassa dalam sistem berkurang dan menyebabkan terjadinya kegagalan proses.

Pada proses pengolahan limbah ketersediaan lahan dan efisiensi proses merupakan suatu faktor yang sangat penting. Oleh karena itu perlu

dirancang suatu teknologi yang dapat mempercepat penguraian senyawa organik dalam air limbah dengan lahan pengolahan yang sempit. Salah satu perancangan yang cukup efektif yaitu penggabungan sistem bioreaktor plat berlubang dengan membran. Penggabungan ini memberikan keuntungan sinergis. 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 gas oksigen dialirkan dari bawah bioreaktor, selanjutnya membran memisahkan padatan biomassa dan cairan. Padatan biomassa yang tertahan pada membran dikembalikan ke dalam bioreaktor. Jadi diharapkan tidak satupun biomassa yang terbuang tanpa kendali. Hal ini akan mengakibatkan konsentrasi biomassa dan waktu tinggal padatan dalam sistem akan meningkat sehingga dapat meningkatkan kinerja proses pengolahan. Cairan yang lolos (permeat) akan dikeluarkan dengan kualitas yang lebih baik.

Landasan Teori

Proses pengolahan limbah secara biologis (lumpur aktif) memanfaatkan jasa mikroorganisme campuran untuk menguraikan bahan-bahan organik yang ada di dalam air limbah. Keberhasilan proses biologis tergantung pada beberapa faktor yang sangat berhubungan dengan aktifitas mikroba.

Beberapa parameter yang sering digunakan dalam perancangan proses lumpur aktif yaitu Cell residence time (CRT), faktor pembebanan dan kebutuhan oksigen.

Cell Residence Time. Waktu Tinggal Sel (Cell residence time, CRT) didefinisikan sebagai waktu tinggal rata-rata mikroba di dalam bak aerasi. CRT dikendalikan dengan cara pembuangan lumpur. Lumpur dapat dibuang dari bawah bak pengendapan maupun dari bak aerasi secara langsung atau secara intermitten. Volume lumpur yang dibuang tergantung pada CRT yang diinginkan. Bila CRT yang semakin besar maka laju pembuangan lumpur semakin kecil, demikian juga sebaliknya.

Cell residence time dari lumpur dapat dihitung dengan menggunakan persamaan :

$$CRT = \frac{VX}{X_r Q_w + X_e Q_e} \quad (1)$$

Faktor Pembebanan. Agar proses degradasi berjalan dengan optimal maka rasio makanan dengan jumlah mikroorganisme harus seimbang. Rasio makanan terhadap mikroorganisme (*food to microorganism ratio*, F/M) ini dikenal dengan istilah faktor pembebanan.

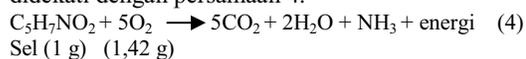
$$\text{Rasio F/M} = \frac{\text{massa substrat dalam reaktor/hari}}{\text{Massa mikroorganisme di reaktor}} \quad (2)$$

Rasio F/M untuk reaktor yang teraduk sempurna dapat didefinisikan dengan persamaan

$$\text{Rasio F/M} = \frac{S_o - S}{Xi \theta} \quad (3)$$

Rasio F/M dapat diatur dengan laju pembuangan lumpur. Rasio F/M yang terjadi akan berbanding terbalik dengan CRT. Proses lumpur aktif konvensional biasanya beroperasi pada rasio F/M antara 0,2-0,6 kg BOD/(kg MLSS-hari) (Sundstrom dan Klei, 1979). Pemakaian nisbah diluar kisaran tersebut akan menimbulkan permasalahan pengendapan di dalam bak sedimentasi.

Kebutuhan Oksigen. Kebutuhan oksigen teoritis dapat diperkirakan dari BOD₅ limbah dan jumlah lumpur yang dibuang dari sistem per hari (Metcalf dan Eddy, 1991). Jika semua BOD₅ dikonversi menjadi produk akhir, kebutuhan oksigen total dapat dihitung dengan mengubah BOD₅ menjadi BOD_L, menggunakan faktor konversi yang sesuai. BOD_L merupakan BOD akhir (*ultimate BOD*). Substrat dari limbah yang dikonversi menjadi sel baru akan sama dengan lumpur (sel) yang dibuang, maka akan diperoleh jumlah oksigen yang harus dimasukkan ke dalam sistim. BOD_L dari 1 g sel setara dengan 1,42 g oksigen. Respirasi sel dapat didekati dengan persamaan 4.



Dari persamaan 4 dapat diketahui bahwa untuk mengoksidasi 1 mol sel diperlukan oksigen sebesar 5 mol. Dengan kata lain, untuk mengoksidasi 1 gram sel diperlukan oksigen sebesar 1,42 gram. Proses lumpur aktif biasanya beroperasi dengan konsentrasi oksigen terlarut di atas 2 mg/l. Bila konsentrasi oksigen terlarut di bawah 2 mg/l, akan menimbulkan beberapa permasalahan pengendapan di dalam bak sedimentasi.

Filtrasi Membran

Filtrasi dapat didefinisikan sebagai pemisahan dua komponen atau lebih dari aliran fluida. Membran berfungsi sebagai penghalang yang selektif, karena membran hanya dapat melewatkan komponen tertentu sementara ia menahan komponen yang lain dari campuran. Pemisahan material oleh membran didasarkan pada perbedaan ukuran dan bentuk molekul material tersebut. Komponen dari umpan yang berukuran lebih besar dari pada pori-pori membran akan tertahan, sedangkan komponen dengan ukuran yang lebih kecil akan dilewatkan. Larutan yang mengandung komponen yang tertahan disebut retentat, dan larutan yang melewati membran disebut permeat.

Proses filtrasi membran, dengan daya dorong berupa perbedaan tekanan dapat dibedakan menjadi mikrofiltrasi, ultrafiltrasi dan osmosa balik. Bila dibandingkan dengan proses pemisahan secara konvensional, proses pemisahan dengan menggunakan membran memiliki beberapa keuntungan diantaranya pemakaian energi yang relatif lebih rendah, karena proses pemisahan dengan membran biasanya tidak memerlukan energi untuk pengubahan fasa dari umpan. Selain itu proses pemisahan dengan membran dapat dilakukan pada temperatur kamar, sehingga proses ini sangat cocok digunakan dalam bidang bioteknologi.

Tipe aliran umpan yang terjadi selama proses filtrasi dapat berupa aliran melintas (*dead-end*) maupun aliran silang (*cross-flow*) (Michaels, 1989). Dalam operasi aliran melintas, tekanan menggerakkan umpan ke seluruh pori-pori dari membran. Padatan akan tertinggal di permukaan membran dan atau di dalam pori atau melewati membran bersama filtrat. Bila pori-pori filter telah tersumbat oleh padatan yang tertahan tersebut, maka operasi filtrasi dihentikan dan membran diganti dengan modul yang baru. Hal tersebut merupakan kelemahan dari proses filtrasi dengan aliran melintas. Semakin majunya teknologi membran memungkinkan digunakannya tipe aliran yang relatif jauh lebih baik, yaitu tipe aliran silang.

Dalam operasi aliran silang, umpan dipompakan tegak lurus arah perpindahan massa pada membran. Tekanan menggerakkan hanya sebagian dari umpan melalui membran, sisa aliran umpan mengalir secara tangensial ke permukaan membran dan secara kontinyu menyapu partikel dari permukaan

membran. Tekanan yang dihasilkan oleh pompa merupakan gaya penggerak untuk memindahkan solven dan solut melalui membran. Dengan aliran silang ini maka solut yang terakumulasi pada permukaan membran bisa dilepaskan dari permukaan membran tersebut karena kecepatan aliran dan tingkat turbulensi tertentu dari aliran umpan.

Metodologi

Bahan. Penelitian ini menggunakan air limbah sintetik yang dibuat menyerupai komposisi limbah cair tapioka seperti terlihat pada Tabel 1.

Tabel 1 Komposisi Limbah Sintetik(Yamamoto,1989)

Komponen	Konsentrasi (mg/l)
Tepung tapioka	12.955
(NH ₄) ₂ SO ₄	4.560
KH ₂ PO ₄	912
FeCl ₃ 6H ₂ O	5,7
MnSO ₄ 6H ₂ O	102,6
CaCl ₂ 2H ₂ O	114
MgSO ₄ 7H ₂ O	1.140

Alat. Bioreaktor yang digunakan 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. Pada bagian dasar bioreaktor dilengkapi *difuser*. Membran yang digunakan adalah membran ultrafiltrasi dengan modul *hollow fiber* yang terbuat dari bahan polisulfon. Diameter pori membran 0,01 µm, luas permukaan 0,5 m² dan panjang modul 30 cm.

Prosedur Penelitian. Penelitian ini dilakukan dalam dua tahap yaitu tahap pendahuluan dan tahap percobaan utama. Tahap pendahuluan terdiri dari pembibitan mikroorganisme. Tahap percobaan utama merupakan tahap operasi pengolahan limbah cair sintetik tapioca dengan variasi cell residence time (CRT) yaitu 20, 40 dan 60 hari.

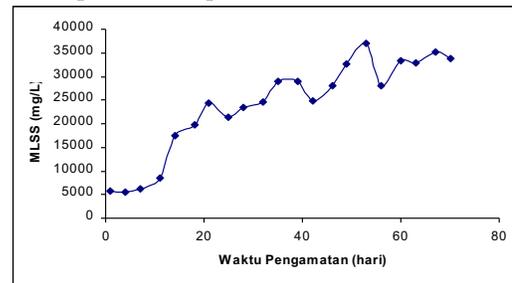
Tahap Pembibitan. Mikroorganisme yang digunakan berasal dari lumpur biomassa instalasi pengolahan limbah cair secara aerob. Lumpur biomassa dimasukkan ke dalam reaktor batch dengan aerasi secara kontinyu. Kemudian substrat yang berupa glukosa yang dilarutkan dalam air diberikan secara bertahap setiap harinya. Setelah mikroorganisme berkembang dengan baik, substrat glukosa mulai sedikit demi sedikit digantikan dengan tapioka, sampai akhirnya seluruh glukosa tergantikan oleh tapioka. Pada tahapan ini dilakukan uji MLSS (mixed liquor suspended solids).

Tahap Percobaan Utama. Air limbah diatur sedemikian rupa sehingga laju alir sesuai dengan HRT yang telah ditentukan dan dimasukkan ke dalam bioreaktor. Keluaran bioreaktor dialirkan ke

dalam membran ultrafiltrasi dengan pompa sentrifugal. Permeat yang keluar ditampung dan retentat dikembalikan lagi ke dalam bioreaktor. Selama tahap ini, sebagian lumpur dari bak aerasi dibuang secara *intermittent* untuk memperoleh CRT yang diinginkan sesuai dengan variabel yang telah ditentukan. Udara yang dimasukkan ke dalam bioreaktor sebesar 2 ml/menit.

Hasil dan Pembahasan

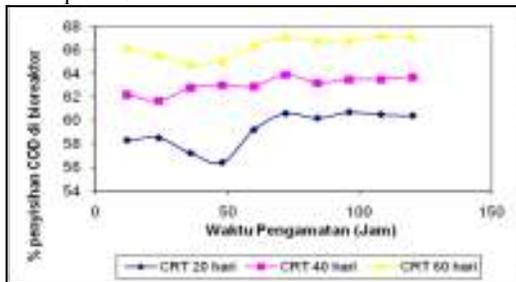
Pembibitan dan aklimatisasi. Pada saat dilakukan tahap pembibitan analisa yang dilakukan adalah analisa MLSS (mixed liquor suspended solids) seperti terlihat pada Gambar 1.



Gambar 1 Pengamatan konsentrasi MLSS selama pembibitan

Dari Gambar 1 diketahui bahwa pada saat awal konsentrasi MLSS cenderung untuk stabil. Hal ini menandakan mikroorganisme sedang beradaptasi dengan substrat yang diberikan. Pada hari ke-1 sampai ke 20, substrat berupa glukosa yang diberikan secara bertahap setiap harinya. Selama tahap pemberian substrat glukosa, konsentrasi MLSS meningkat dengan cepat. Hal ini disebabkan karena glukosa merupakan senyawa yang mudah didegradasi oleh mikroorganisme. Kemudian pada hari ke-21, substrat mulai digantikan dengan tapioka secara bertahap sampai seluruh glukosa tergantikan oleh tapioka. Pada saat awal penggantian substrat glukosa dengan tapioka terlihat bahwa konsentrasi MLSS menurun. Penurunan ini dimungkinkan karena tapioka merupakan senyawa kompleks dengan rantai panjangnya yang sulit didegradasi dibandingkan dengan glukosa, sehingga mikroorganisme mengalami adaptasi dengan lingkungan yang baru. Hal ini mengakibatkan metabolisme sel belum mampu bekerja dengan optimal, tetapi pada hari selanjutnya konsentrasi MLSS terus meningkat yang menandakan telah terjadinya pembelahan sel. Setelah hari ke 40 dilakukan proses aklimatisasi. Pada awal proses aklimatisasi terjadi penurunan konsentrasi MLSS karena mikroorganisme yang ikut bersama dengan cairan yang dikeluarkan dan mikroorganisme yang tertinggal di dalam bak aerasi mulai beradaptasi dengan laju alir yang diberikan. Pada akhir proses aklimatisasi konsentrasi MLSS cenderung stabil yaitu berkisar 32.000 mg/L.

Pengamatan efisiensi penyisihan COD di bioreaktor pada berbagai CRT. Pada percobaan utama ini dilakukan variasi laju pembuangan lumpur (CRT). Adapun hasil penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 2.

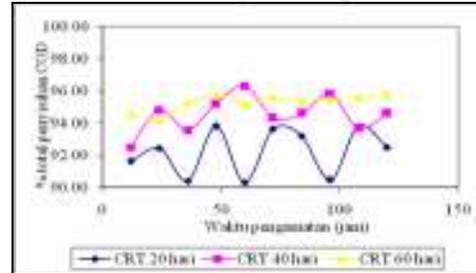


Gambar 2 Efisiensi penyisihan COD di bioreaktor

Dari Gambar 2 terlihat bahwa semakin tinggi CRT dan seiring dengan meningkatnya waktu pengamatan maka efisiensi penyisihan COD di dalam bioreaktor juga semakin besar. Fluktuasi penyisihan COD di dalam bioreaktor semakin kecil pada CRT yang tinggi. Fluktuasi terbesar adalah pada CRT 20 hari. Semakin kecil CRT maka laju pembuangan lumpur semakin besar, sehingga umur lumpur (mikroorganisme) berada di dalam bioreaktor untuk mendegradasi senyawa organik juga semakin kecil. Hal ini menyebabkan efisiensi penyisihan COD semakin menurun seiring dengan menurunnya CRT. Laju pembuangan lumpur dengan jumlah yang banyak juga menyebabkan kemampuan adaptasi mikroorganisme terhadap lingkungannya semakin sulit, sehingga untuk mencapai kestabilan proses membutuhkan waktu yang lama, demikian pula sebaliknya. Berdasarkan analisa statistik didapatkan bahwa Cell Residence Time (CRT) mempengaruhi efisiensi penyisihan COD di dalam bioreaktor secara signifikan. Menurut Sundstrom (1979), CRT berbanding terbalik dengan rasio makanan terhadap jumlah mikroorganisme (rasio F/M). Rasio F/M yang dikehendaki pada sistem pengolahan limbah secara aerob berkisar antara 0,2-0,6 (Sugiharto, 1997). Rasio F/M untuk CRT 20, 40 dan 60 hari, masing-masing adalah 0.764, 0.708 dan 0.682 gCOD/(gMLSS. hari) . Rasio F/M untuk HRT 24 jam, CRT 20, 40 dan 60 hari, masing-masing adalah 0.764, 0.708 dan 0.682 gCOD/(gMLSS. hari) .

Pengamatan efisiensi total penyisihan COD pada berbagai CRT. Efisiensi total penyisihan COD adalah prosentasi pengurangan COD limbah mulai dari umpan (limbah segar) hingga permeat (keluaran membran). Efisiensi total penyisihan COD pada berbagai CRT relatif berfluktuasi dari awal hingga akhir pengolahan, seperti terlihat pada Gambar 3. Fluktuasi terbesar terjadi pada CRT 20 hari. Hal ini disebabkan oleh COD keluaran bioreaktor untuk CRT tersebut juga berfluktuasi, dimana TDS (total dissolve solids) hasil dari proses

penguraian dan yang terdapat dalam limbah itu sendiri jumlahnya juga berfluktuasi. TDS yang ada di dalam keluaran bioreaktor itu memiliki ukuran pori yang beraneka ragam. Padatan/senyawa yang memiliki ukuran pori yang lebih kecil dari pori membran dapat tertahan sedangkan yang lebih kecil akan keluar bersama dengan aliran permeat.



Gambar 3 Efisiensi total penyisihan COD pada berbagai CRT

Meningkatnya efisien penyisihan COD setelah proses dilewatkan melalui membran disebabkan oleh fungsi membran yang tidak hanya dapat menahan biomassa tetapi juga dapat menahan senyawa-senyawa organik yang belum terdegradasi oleh mikroorganisme di dalam bioreaktor.

Rasio BOD₅ dan COD pada berbagai CRT.

BOD₅ dan COD merupakan parameter pengendali utama dalam menentukan kualitas air limbah yang akan dibuang ke lingkungan. Dalam penelitian ini nilai BOD₅ umpan, bioreaktor dan permeat dilakukan pada akhir pengolahan yaitu hari ke-5. Pengaruh CRT terhadap kualitas keluaran dapat dilihat dari rasio BOD₅/COD dari umpan, bioreaktor dan keluaran membran. Konsentrasi BOD dan COD pada berbagai CRT terlihat pada Tabel 2.

Dari Tabel 2 diketahui bahwa rasio BOD₅/COD untuk air limbah sintetik tapioka rata-rata bernilai 0,87. Limbah dengan nisbah BOD₅/COD lebih kecil dari 0,65 tergolong sebagai limbah yang sulit terbiodegradasi (Chin dkk, 1985). Melihat rasio BOD₅/COD limbah tapioka yang lebih besar dari 0,65 maka dapat digolongkan limbah tersebut mudah terdegradasi oleh mikroorganisme.

Tabel 2 Hasil perhitungan nisbah BOD₅/COD pada berbagai CRT

HRT (jam)	CRT (hari)	Parameter	COD	BOD ₅	BOD ₅ /COD
24	20	Umpan	12380	10220	0.826
		Bioreaktor	4802	2690	0.560
		Permeat	891	510	0.572
	40	Umpan	11460	10650	0.929
		Bioreaktor	4160	2140	0.514
		Permeat	527	310	0.588
	60	Umpan	11800	10240	0.868
		Bioreaktor	3882	1810	0.466
		Permeat	330	190	0.576

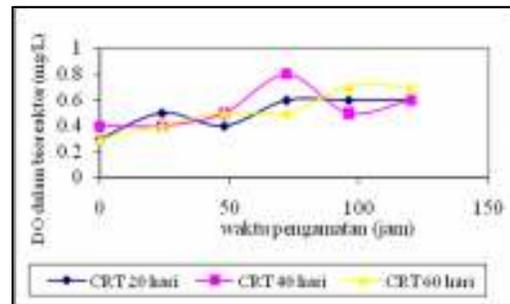
Pada Tabel 2 terlihat bahwa rasio BOD₅/COD umpan jauh lebih tinggi bila dibandingkan rasio BOD₅/COD didalam bioreaktor. Ini berarti bahwa senyawa organik yang terdapat di dalam bioreaktor lebih sulit terdegradasi dibandingkan dengan yang terdapat di dalam umpan. Hal ini bisa disebabkan oleh adanya residu sel yang nonbiodegradable yang berasal dari proses respirasi endogenous mikroorganisme di dalam bioreaktor. Rasio BOD₅/COD di dalam bioreaktor akan menurun dengan kenaikan CRT. Dengan meningkatnya CRT maka laju pembuangan lumpur persatuan volume semakin menurun sehingga semakin lama dan semakin banyak mikroorganisme di dalam bioreaktor. Mikroorganisme di dalam bioreaktor akan mengalami respirasi endogenous bila substrat yang tersedia sudah tidak mencukupi lagi sehingga residu sel nonbiodegradable juga semakin meningkat.

Pengamatan DO (Dissolved Oxygen) pada berbagai CRT. Oksigen yang terlarut dalam air merupakan parameter yang sangat penting dalam menentukan kualitas air. Nilai dissolved Oxygen atau oksigen yang terlarut di dalam suatu larutan bisa digunakan dalam menentukan derajat kontaminan di dalam suatu larutan. Semakin kecil nilai DO maka semakin banyak pula kontaminan yang terdapat di dalam larutan tersebut. Kadar DO dari hasil penelitian pada berbagai CRT dapat dilihat pada Gambar 4.

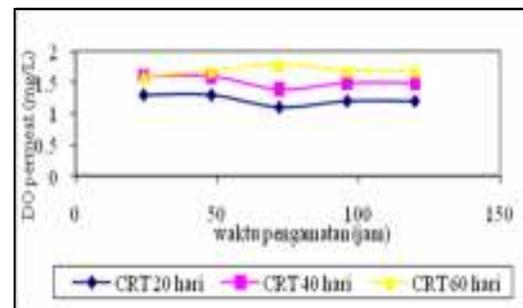
Dari Gambar 4 terlihat bahwa oksigen yang terlarut dalam bioreaktor semakin meningkat dengan meningkatnya waktu pengolahan. Terlarutnya oksigen di dalam air limbah cenderung berubah-ubah, karena kelarutan oksigen sangat dipengaruhi oleh temperatur, tekanan, difusi oksigen dari udara, dan proses dekomposisi bahan organik oleh mikroorganisme. Konsentrasi DO di dalam bioreaktor dapat meningkat walaupun degradasi senyawa organik oleh mikroorganisme yang membutuhkan oksigen terjadi. Hal ini dikarenakan didalam bioreaktor secara kontinyu dialirkan udara dengan laju alir 2 ml/menit. Oksigen dari udara ini dapat meningkatkan kadar DO dalam bioreaktor karena oksigen yang dikonsumsi oleh mikroorganisme dapat dikembalikan kembali seiring dengan menurunnya kadar senyawa organik dalam air limbah. Kadar DO dari berbagai CRT rata-rata berkisar antara 0,5-0,7 mg/L.

Konsentrasi DO di dalam permeat lebih tinggi dibandingkan dengan konsentrasi DO dalam bioreaktor yaitu berkisar antara 1,3-1,9 mg/L. Kenaikan kadar DO ini tidak terlepas dari fungsi membran yang dapat menahan biomassa dan senyawa-senyawa organik yang belum terdegradasi yang memiliki pori yang lebih besar dari pori membran sehingga keluaran membran (permeat) berupa cairan jernih yang bebas dari

mikroorganisme. Larutan yang jernih dengan kandungan bahan organik yang rendah akan memudahkan difusi oksigen dari udara ke dalam larutan. Selain itu juga akibat pengaruh suhu dari permeat yang lebih rendah dibandingkan dengan suhu di dalam bioreaktor. Di permeat suhu berkisar 32°C sedangkan di dalam bioreaktor suhu rata-rata 40°C. Tingginya suhu di dalam bioreaktor disebabkan oleh reaksi penguraian senyawa organik yang umumnya bersifat eksoterm.



Gambar 4 Pengamatan DO di bioreaktor



Gambar 5 Pengamatan DO di permeat

Kesimpulan

Konsentrasi COD keluaran bioreaktor semakin rendah seiring dengan meningkatnya Cell Residence Time (CRT). Pada CRT 20, 40 dan 60 hari, efisiensi penyisihan COD di dalam bioreaktor plat berlubang berturut-turut sebesar 60,4, 63,7 dan 67,1%. Efisiensi total penyisihan COD setelah melalui membran untuk CRT 20, 40 dan 60 hari masing-masing sebesar 92,8, 95,4 dan 97,2%. Membran polisulfon mampu meningkatkan efisiensi penyisihan COD keluaran proses pengolahan, karena kemampuannya menahan biomassa dan padatan tersuspensi termasuk senyawa organik yang belum terdegradasi sehingga permeat yang dikeluarkan sangat jernih.

Konsentrasi DO meningkat dengan meningkatnya CRT. Konsentrasi DO keluaran bioreaktor berkisar antara 0,5-0,7 mg/L. Setelah melalui membran didapat konsentrasi DO berkisar antara 1,3-1,9 mg/L. Konsentrasi DO tertinggi dicapai pada CRT 60 hari.

Daftar notasi

F/M = food to microorganism ratio, hari⁻¹
 S = konsentrasi BOD atau COD efluen, mg/l
 S_0 = konsentrasi BOD atau COD influen, mg/l
 V = volume bak aerasi, liter
 Q = laju alir influen limbah, l/hari
 Q_e = laju alir volumetris keluaran bak pengendapan, l/hari
 Q_w = laju pembuangan lumpur volumetris, l/hari
 X = MLSS di dalam bak aerasi, mg/l
 X_e = MLSS keluaran bak sedimentasi, mg/l
 X_i = konsentrasi lumpur tersuspensi di dalam bak aerasi, mg/l
 X_r = MLSS resirkulasi, mg/l
 Θ = Hydraulic Retention Time di dalam bak aerasi = V/Q , hari

Daftar Pustaka

- APHA (1992), "*Standard Methods for Examination of Water and Wastewater*", 18th ed., American Public Health Association, Washington.
- Budiyono, T. Setiadi, I.G Wenten dan A. Ahmad (2000), "*The Combination Of Membrane Separation Technology And Activated Sludge Process For Industrial Waste Water Treatment*", Proceeding of 2nd Internasional ITB-UNESCO Workshops on Membranes 2000, Bandung.
- Chin, K.K, Wong, K.K, dan Ng, W.J., (1985), "Two phase Anaerobic Treatment Kinetics of Palm Oil Waste", *Wat. Res.*, Vol.19, hal.667-669.
- Metcalf dan Eddy. (1991), "Wastewater Engineering: Treatment Disposal Reuse, 3rd ed., McGraw-Hill International Editions, Singapore.
- Michaels, S.L., (1989), "*Crossflow Microfilter : The Ins and Outs*", *Chem. Eng.*, January, hal 84-91.
- Sofyan, Kamsina dan Salmariza., (1996), "*Pengaruh Waktu Tinggal dan Waktu Aerasi Terhadap Penurunan Bahan-bahan Pencemar dalam Limbah Cair Industri Tapioka*", *Jurnal LIPI*, Vol.IV
- Sugiharto. 1987. "Dasar-dasar Pengelolaan Air Limbah", Universitas Indonesia
- Sundstrom, D.W. dan Klei, H.E. (1979), "*Wastewater Treatment*", Prentice-Hall International, Inc., London
- Wenten, I.G., (1998), "*Penurunan Fluks pada Filtrasi Membran : Mekanisme dan Pengendaliannya*", Proceeding Seminar Nasional TK, ITB, Bandung
- Wenten, I.G., (2000), "*Technology Membrane Industrial*", Institut Teknologi Bandung
- Yamamoto, K., M. Hiasa, T. Mahmood, and T. Matsuo. (1989), "*Direct Solid-Liquid Separation Using Hollow Fiber Membrane In An Activated Sludge Aeration Tank*", *Water Science Technology*, 21, p. 43-54