

PENGARUH WAKTU TINGGAL BIOMASSA (SRT) TERHADAP KUALITAS LIMBAH CAIR INDUSTRI TEKSTIL DENGAN PROSES LUMPUR AKTIF-MEMBRAN

Suwardiyono *)

Abstrak

Penelitian gabungan proses lumpur aktif-membran ini, merupakan pengembangan proses lumpur aktif konvensional, dalam rangka upaya peningkatan kinerja proses. Dalam sistem ini, membran berfungsi sebagai pengganti bak sedimentasi. Proses pengolahan diharapkan bisa beroperasi pada konsentrasi biomassa dan waktu tinggal biomassa yang tinggi serta menghasilkan sistem yang kompak.

Pada penelitian ini digunakan limbah cair industri tekstil dengan COD 795-1148 mg/l dan mikroorganisme dari sistem proses lumpur aktif konvensional. Proses membran yang digunakan adalah mikrofiltrasi crossflow dengan modul hollow fiber terbuat dari polipropilen, ukuran pori 0,2 mikron dan luas permukaan membran 0,0226 m². Proses pengolahan berlangsung pada waktu tinggal cairan (hydraulic retention time, HRT) tetap 9 jam dan waktu tinggal lumpur (solid retention time, SRT) divariasikan, yaitu 24, 32, 40 dan 48 hari. Dengan variasi SRT tersebut dapat diketahui pengaruh SRT terhadap kinerja proses dan kualitas keluaran.

Kondisi proses membran pada penelitian ini TMP 0,4 bar dan laju aliran silang 0,88 m/s serta tekanan backflushing 1,6 bar, selang waktu 1,5 menit dan lama backflushing 1 detik. Dengan kondisi ini, diperoleh fluks stabil 5,04 l/(jam.m²) pada berbagai SRT. Pada keadaan tunak, didapatkan MLSS semakin besar, dengan peningkatan SRT. Konsentrasi COD keluaran semakin kecil seiring dengan kenaikan SRT, yaitu pada SRT 24, 32, 40 dan 48 hari berturut-turut 198, 126, 79 dan 38 mg/l. Dan efisiensi penyisihan COD yang diperoleh semakin besar seiring dengan kenaikan SRT, yaitu pada SRT 24, 32, 40 dan 48 hari berturut-turut 80,85 %, 87,59 %, 92,08 dan 96,26 %

Kata kunci : kualitas limbah; limbah cair; proses lumpur aktif-membran; waktu tinggal biomassa (solid retention time, SRT)

Pendahuluan

Teknologi proses yang paling banyak digunakan untuk pengolahan limbah cair, terutama limbah organik adalah proses pengolahan secara biologis. Proses lumpur aktif merupakan salah satu metode pengolahan secara biologis aerob yang sering digunakan. Ditemukan oleh Arden dan Lockett pada tahun 1914 dan dikomersilkan oleh John dan Atwood pada tahun 1920 dengan proses kontinu (Urbain, dkk., 1998). Proses perlakuan lumpur aktif biasanya berjalan secara alamiah, sehingga sering memerlukan waktu lama dan lahan yang luas.

Kinerja proses lumpur aktif sangat dipengaruhi oleh beberapa parameter yang saling terkait. Parameter tersebut antara lain konsentrasi umpan, waktu tinggal lumpur (*sludge retention time*, SRT), waktu tinggal cairan (*hydraulic retention time*, HRT), konsentrasi biomassa (*mixed liquor suspended solid*, MLSS), pembebanan organik dan karakteristik pengendapan di dalam bak sedimentasi. Dari parameter tersebut yang bersifat sebagai katalis reaksi biokimia adalah

biomassa. Dengan konsentrasi biomassa yang tinggi, proses lumpur aktif akan mampu mendegradasi limbah cair dengan cepat, namun menimbulkan masalah pada proses pemisahan biomassa. Proses lumpur aktif konvensional biasanya beroperasi pada SRT antara 3 sampai 15 hari agar diperoleh floks yang mudah mengendap. Penggunaan SRT diluar rentang tersebut akan menimbulkan permasalahan pengendapan di dalam bak sedimentasi (Grady dan Lim, 1980).

Kemajuan teknologi membran dapat merupakan alternatif untuk mengatasi permasalahan pemisahan biomassa pada proses lumpur aktif. Membran dimanfaatkan sebagai bagian integral dari proses lumpur aktif, yang kemudian disebut proses lumpur aktif-membran. Membran berperan sebagai pengganti bak sedimentasi, berfungsi menahan mikroorganisme tetap dalam bak aerasi dan melewati permeat, sehingga waktu tinggal biomassa (SRT) lebih lama. Dengan cara tersebut proses pengolahan mampu meningkatkan konsentrasi mikroorganisme di dalam bak aerasi.

*) Staf Pengajar Fakultas Teknik Undaris Ungaran
Jl. Mulawarman II/11 A Banyumanik Semarang
Telp 024-7479039, 08164255283, maswardy@yahoo.com

Waktu tinggal biomassa (*solid retention time*, SRT) didefinisikan sebagai waktu tinggal rata-rata mikroba di dalam bak aerasi (Sundstrom dan Klei, 1979). SRT dikendalikan dengan cara pembuangan lumpur dari bak aerasi secara langsung. Volume lumpur yang dibuang tergantung pada SRT yang diinginkan. SRT semakin besar dikendalikan dengan pembuangan lumpur yang semakin kecil, demikian juga sebaliknya. Perhitungan SRT dapat didekati dengan jumlah MLSS yang ada di dalam bak aerasi dibagi dengan laju pembuangan lumpur. Pada proses lumpur aktif-membran SRT dapat dirumuskan sebagaimana persamaan (1) :

$$SRT = \frac{V}{F_w} \quad (1)$$

Pada proses lumpur aktif-membran, proses pemisahan biomassa tidak dipengaruhi oleh SRT. Hal ini memungkinkan pengaturan SRT relatif lebih tinggi bila dibandingkan dengan proses lumpur aktif konvensional. Bila SRT semakin besar maka konsentrasi biomassa semakin besar, sehingga proses degradasi zat organik juga semakin cepat. Dengan demikian dapat diharapkan kualitas keluaran akan semakin baik.

Penelitian mengenai proses lumpur aktif-membran telah dilakukan antara lain oleh Bailey, dkk. (1994), Futamura, dkk. (1994), Wenten, dkk. (1994), Muller, dkk. (1995), Chang, dkk. (1996), Budiyo (1997) dan Sanie & Kusbiantoro (1998). Dari beberapa penelitian diperoleh hasil yaitu proses mampu berjalan pada SRT dan MLSS tinggi (Bailey, dkk. 1994; Muller, dkk. 1995; Budiyo, 1997 dan Sanie & Kusbiantoro 1998), efisiensi penyisihan COD diatas 97% (Bailey, dkk. 1994; Sanie & Kusbiantoro, 1998) dan keluaran bebas padat tersuspensi (Futamura, dkk. 1994). Penggunaan teknik *backflushing* mampu mempertahankan kestabilan fluks, pada MLSS dan SRT tinggi (Wenten, dkk. 1994; Budiyo, 1997 dan Sanie & Kusbiantoro, 1998). Namun penerapan gabungan proses lumpur aktif membran masih terbatas pada limbah sintesis (Bailey, dkk. 1994; Chang, dkk. 1996; Budiyo, 1997 dan Sanie & Kusbiantoro, 1998) dan limbah domestik (Futamura, dkk. 1995 dan Muller, dkk. 1995).

Penelitian ini bertujuan untuk mempelajari pengaruh SRT terhadap kualitas keluaran pada pengolahan limbah cair industri tekstil dengan proses lumpur aktif-membran. Dengan mengetahui pengaruh SRT terhadap kualitas keluaran, akan dapat dimanfaatkan sebagai usaha untuk meningkatkan kinerja proses lumpur aktif-membran.

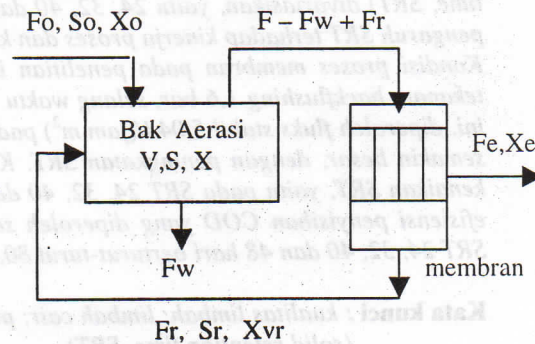
Metode Penelitian

Limbah cair yang digunakan pada penelitian ini diperoleh dari limbah cair industri tekstil PT. Garudatek Bandung yang telah mengalami ekuualisasi. Sedangkan lumpur aktif yang digunakan juga diperoleh dari sekitar industri tekstil kemudian

dikembangbiakkan dan diaklimatisasikan terhadap limbah cair industri tekstil.

Membran yang digunakan terbuat dari polipropilen dengan konfigurasi *hollow fiber*, dengan ukuran pori 0,2 mikron. Satu modul membran *hollow fiber* terdiri dari 40 batang fiber dengan panjang 30 cm dan diameter dalam fiber 0,3 mm serta diameter luarnya 0,6 mm. Satu modul membran tersebut mempunyai luas permukaan 0,0226 m².

Bak aerasi berbentuk kubus yang terbuat dari flexy glass dan bagian bawah kubus berupa limas segi empat terbalik dan terpancung. Volume kerja efektif bak aerasi adalah 8 liter. Dari bagian bawah bak aerasi dipasang difuser dengan diameter 2,4 cm. Difuser berfungsi sebagai tempat masuknya udara dari kompresor dan sekaligus untuk mendistribusikan udara ke dalam bak aerasi. Selain peralatan utama yang terdiri dari bak aerasi dan membran, juga diperlukan peralatan pembantu antara lain pompa sentrifugal, katub, manometer, katub tiga arah (*three way valve*), dan pengatur waktu (*timer*). Skema rangkaian alat penelitian disajikan pada Gambar 1.



Gambar 1. Skema proses lumpur aktif-membran

Penelitian ini dilakukan dengan variabel berubah waktu tinggal biomassa (SRT) sebesar 24, 32, 40 dan 48 hari pada MLSS awal sekitar 10.000 mg/l dan waktu tinggal cairan (HRT) tetap 9 jam. Variabel lain dipertahankan tetap yaitu suhu operasi, volume bak aerasi, jenis dan ukuran membran, kadar oksigen terlarut. Analisa yang akan dilakukan yaitu kadar COD dan MLSS dari umpan, bioreaktor dan permeat, serta fluks permeat.

Setelah dilakukan aklimatisasi biomassa dan karakterisasi membran, air limbah dengan laju alir tertentu dimasukkan ke dalam bak aerasi. Laju alir umpan ditentukan agar menghasilkan waktu tinggal cairan di dalam bak aerasi selama 9 jam. Dari bak aerasi cairan dipompa dan dialirkan ke dalam modul membran dan sebagian dikembalikan ke bak aerasi dengan mengatur katub untuk mengendalikan laju alir dan TMP. Permeat yang keluar ditampung, sedangkan retentat dikembalikan lagi ke dalam bak aerasi, dan secara bersamaan dilakukan *backflushing*. Sebagian lumpur dari bak aerasi dibuang secara berkala untuk

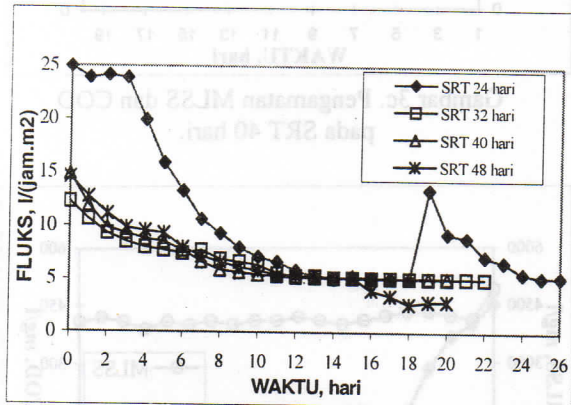
memperoleh harga SRT yang diinginkan sesuai variabel penelitian.

Metode analisa BOD, COD dan MLSS menggunakan *standard method* APHA, 1992.

Hasil Dan Pembahasan

Pengamatan fluks permeat sampai dengan kondisi tunak

Pengamatan fluks permeat pada berbagai SRT selama penelitian dipaparkan dalam bentuk grafik yang disajikan dalam Gambar 2.



Gambar 2. Pengamatan fluks permeat pada berbagai SRT

Dari Gambar 2. dapat dilihat, khususnya SRT 24 hari, fluks stabil pada 24 l/(jam.m²) hanya 4 hari pertama, setelah itu fluks cenderung turun dan akhirnya stabil pada fluks sekitar 5 l/(jam.m²). Hal ini dapat dijelaskan dengan melihat data MLSS di dalam bioreaktor dan COD permeat. Penurunan fluks setelah 4 hari pertama diperkirakan terjadinya *fouling* akibat mikroba mengalami lisis. Konsentrasi MLSS di dalam bioreaktor setelah 4 hari pertama cenderung turun dan penyisihan COD relatif kecil. Pernyataan ini menunjukkan bahwa mikroba mengalami lisis, berbeda dengan 4 hari pertama terjadi penyisihan COD yang relatif tinggi, berarti mikroba mengalami metabolisme dengan baik. Bila sel mengalami lisis maka pecah menjadi molekul-molekul penyusun sel seperti protein-protein, polipeptida, polisakarida, residu sel maupun polifospat. Pada proses aerobik, saat berlangsungnya metabolisme sel terakumulasi sejumlah *residu endogenous* akibat proses *maintenance* dan juga terjadi akumulasi glikogen dan polipospat (Smolders, dkk., 1996). Terutama polipospat dengan adanya mineral-mineral dapat membentuk garam-garam yang sukar larut, hal ini mengakibatkan terbentuknya deposit pada permukaan membran, maupun *pore blocking* sehingga fluks turun drastis.

Pada SRT 24 hari dilakukan pencucian sekali yaitu pada hari ke 19 karena fluks sudah relatif kecil yaitu 5,04 l/(jam.m²), dan bisa mengembalikan fluks menjadi 13,41 l/(jam.m²). Namun terjadi penurunan fluks menjadi sekitar 5 l/(jam.m²) pada hari ke 25 dan

stabil pada fluks tersebut. Demikian juga untuk SRT 32, 40 dan 48 hari mengalami penurunan fluks dan stabil pada fluks sekitar 5 l/(jam.m²). Hal ini bisa disimpulkan bahwa keempat SRT mencapai fluks stabil yang relatif sama yaitu pada fluks sekitar 5 l/(jam.m²). SRT 48 hari mengalami penurunan fluks setelah kondisi stabil, yaitu pada hari ke 15, hal ini karena terjadi kerusakan kompresor, sehingga selama 5 hari terakhir tanpa menggunakan backflushing. Walaupun tanpa backflushing fluks mampu bertahan stabil selama 5 hari pada 2,92 l/(jam.m²).

Dari pengamatan tersebut dapat disimpulkan bahwa kemampuan backflushing dengan tekanan 1,6 bar, interval waktu 1,5 menit, dan lama backflushing 1 detik, pada penelitian ini mampu mempertahankan fluks 5 l/(jam.m²). Dari gambar 2. Juga dapat diketahui bahwa ke 4 tempuhan SRT, memberikan kestabilan fluks yang sama besarnya, yaitu 5 l/(jam.m²). Hal ini berbeda dengan penelitian terdahulu yang menyatakan bila SRT semakin tinggi dapat diperoleh fluks yang lebih stabil (Budiyono, 1997). Perbedaan ini terjadi, disebabkan pada penelitian ini walaupun digunakan SRT yang relatif tinggi yaitu 24 - 48 hari, namun MLSS yang didapatkan relatif rendah antara 2900 - 4100 mg/l. Pada penelitian ini dalam bioreaktor terjadi kompetitif antara mikroba, sehingga mikroba dalam kondisi lapar, sedangkan pada penelitian Budiyono digunakan limbah sintesis sehingga MLSS dapat dirancang cukup tinggi sekitar 20.000 mg/l.

Pengamatan MLSS dan COD sampai kondisi tunak

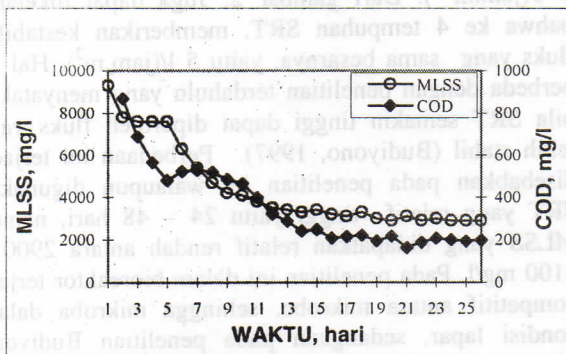
Kondisi tunak didapatkan dengan mengamati MLSS dan COD permeat setiap hari. Kondisi tunak dicapai, apabila konsentrasi MLSS dalam bak aerasi dan COD permeat relatif konstan seiring dengan kenaikan waktu pengamatan. Hasil pengamatan disajikan pada gambar 3a - 3d.

Dari gambar 3a - 3d dapat dijelaskan bahwa untuk semua SRT, MLSS cenderung turun, dan akhirnya stabil pada MLSS tertentu. Secara umum dengan meningkatnya SRT, konsentrasi MLSS pada kondisi tunak semakin tinggi. Penurunan MLSS relatif tajam pada SRT 24 dan 32 hari. Sedangkan penurunan MLSS untuk SRT 40 dan 48 hari relatif kecil dan bahkan hanya terjadi pada hari pertama, setelah itu relatif stabil. Perbedaan ini disebabkan oleh konsentrasi MLSS awal yang berbeda bila dibandingkan dengan konsentrasi MLSS pada keadaan tunak untuk SRT yang bersangkutan. Pada SRT 24, 32, 40 dan 48 hari, MLSS awal berturut-turut 9300, 7600, 5400 dan 4900 mg/l. Sedangkan MLSS pada keadaan tunak berturut-turut 2900, 3500, 3800 dan 4100 mg/l. Dari data tersebut menunjukkan bahwa pada percobaan dengan SRT 40 dan 48 hari MLSS awal, relatif mendekati MLSS pada keadaan tunak, sehingga terjadinya penurunan MLSS relatif kecil.

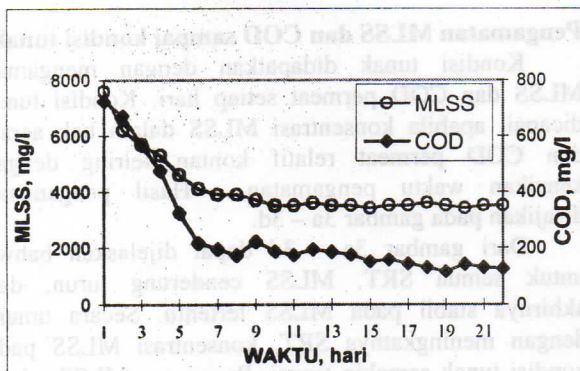
Penurunan MLSS pada hari pertama disebabkan menempelnya partikel mikroba pada

permukaan membran, sehingga konsentrasi MLSS pada bioreaktor berkurang drastis. Hal ini terjadi karena sifat membran hidrofob yang kurang suka air, sehingga partikel mempunyai kesempatan menempel lebih dahulu. Sedangkan penurunan MLSS berikutnya seperti kasus pada SRT 24 hari, dapat dijelaskan pada Gambar 3a. Pada hari ke 5 terjadi penurunan MLSS yang cukup tajam, bersamaan dengan itu diikuti kenaikan COD. Hal ini membuktikan terjadinya kematian sel dan lisis kemudian meluruh menjadi substrat sekunder (Van Loosdrecht, dkk., 1999). Adapun penyebab kematian sel mikroba tersebut banyak faktor, kemungkinan akibat kurangnya substrat dan energi untuk metabolisme sel serta temperatur yang cukup tinggi.

temperatur bioreaktor yang tinggi ini akan memerlukan substrat sebagai sumber energi yang lebih besar.

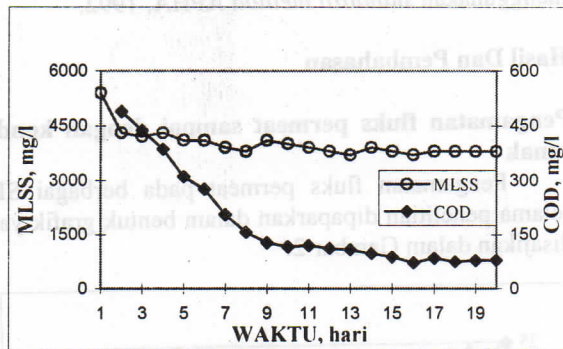


Gambar 3a. Pengamatan MLSS dan COD pada SRT 24 hari

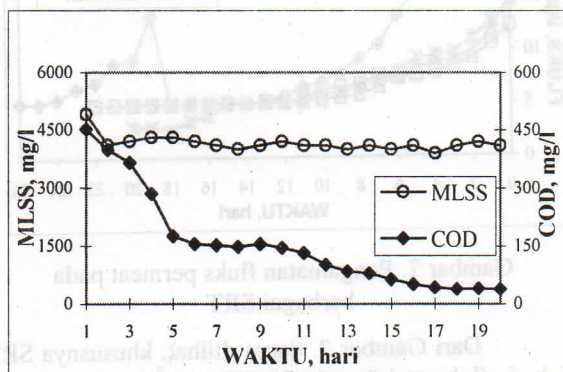


Gambar 3b. Pengamatan MLSS dan COD pada SRT 32 hari

Pada penelitian ini temperatur dalam bioreaktor pada kondisi tunak adalah 40° C, sehingga terjadi seleksi mikroba. Bagi mikroba yang tidak mampu hidup pada temperatur tersebut akan mati dan hanya mikroba tertentu yaitu kelompok bakteri mesofil yang akan bertahan hidup. Pada temperatur yang lebih tinggi, mikroba akan memerlukan energi untuk pemeliharaan yang lebih besar, mengikuti persamaan Arrhenius, dengan energi aktivasi 70 kJ/mol (Heijnen, 1996). Koefisien peluruhan mikroba (b) dipengaruhi oleh temperatur, laju peluruhan meningkat dengan naiknya temperatur. Hal ini berhubungan dengan dibutuhkannya energi pemeliharaan (*maintenance energy*) dan terjadinya *endogenous metabolism* (Grady dan Lim, 1980). Dengan demikian,



Gambar 3c. Pengamatan MLSS dan COD pada SRT 40 hari.



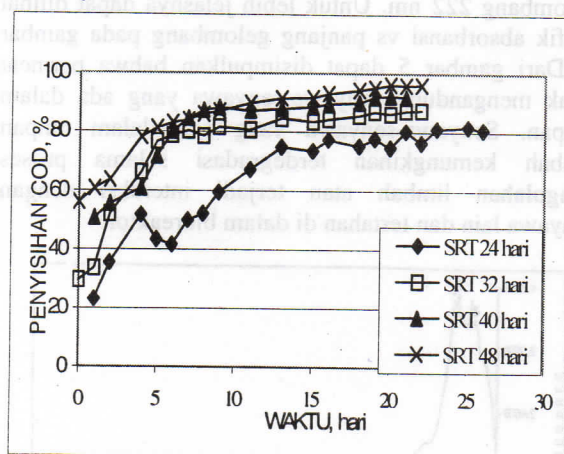
Gambar 3d. Pengamatan MLSS dan COD pada SRT 48 hari

Dari Gambar 3 juga bisa diketahui bahwa pada berbagai SRT, seiring dengan kenaikan waktu pengamatan, terjadi penurunan COD sampai diperoleh COD relatif konstan. Penurunan COD relatif tajam pada SRT 24 dan 32 hari, bila dibandingkan pada SRT 40 dan 48 hari. Perbedaan ini diperkirakan juga disebabkan oleh perbedaan konsentrasi COD awal di dalam bioreaktor dan konsentrasi COD pada keadaan tunak. Konsentrasi COD awal pada SRT 24, 32, 40 dan 48 hari berturut-turut 996, 785, 588 dan 460 mg/l, sedang pada keadaan tunak COD keluaran tercapai berturut-turut 198, 126, 79 dan 38 mg/l. Perbedaan konsentrasi COD pada kondisi tunak, berkaitan erat dengan fenomena yang terjadi didalam bioreaktor, misalnya jumlah mikroba, aktivitas mikroba, mikroba viabel, mati, lisis, fraksi aktif dan lain-lain.

Pengamatan efisiensi penyisihan COD

Secara umum untuk semua SRT didapatkan COD keluaran yang memenuhi baku mutu limbah cair industri tekstil yang ditetapkan pemerintah yaitu 250 mg/l. Pada berbagai SRT, semakin tinggi SRT didapatkan COD keluaran pada kondisi tunak semakin kecil dan pada penelitian ini COD keluaran tidak dipengaruhi oleh COD umpan. Untuk membahas

lebih lanjut mengenai kinerja bioreaktor ini disajikan grafik efisiensi penyisihan COD pada kondisi transien yang dapat dilihat pada gambar 4. Dari gambar 4. dapat dilihat bahwa efisiensi penyisihan COD untuk semua SRT meningkat, seiring dengan kenaikan waktu pengamatan dan akhirnya mencapai suatu harga yang relatif konstan. Efisiensi penyisihan COD yang didapatkan pada SRT 24, 32, 40 dan 48 hari berturut-turut 80,85 %, 87,59 %, 92,08 % dan 96,26 %. Dari gambar 4. juga dapat dipelajari pengaruh SRT terhadap kestabilan penyisihan COD, semakin tinggi SRT fluktuasi penyisihan COD semakin berkurang. Fluktuasi terbesar pada SRT 24 hari, sedangkan pada SRT 48 hari relatif tidak mengalami fluktuasi. Kestabilan ini diperkirakan berhubungan dengan umur lumpur yang ada dalam bioreaktor. Semakin besar SRT berarti kesempatan lumpur untuk tinggal didalam bioreaktor makin besar, sehingga kemampuan adaptasi terhadap lingkungan juga makin besar, demikian pula sebaliknya.



Gambar 4. Efisiensi penyisihan COD pada berbagai SRT kondisi transien

Pada SRT yang semakin kecil, masih membutuhkan adaptasi lagi jika terjadi perubahan kondisi umpan maupun kondisi lingkungan, sehingga efisiensi penyisihan COD mengalami fluktuasi. Berbeda pada SRT 48 hari, lumpur telah mampu beradaptasi terhadap fluktuasi kondisi umpan maupun lingkungan. Dengan demikian, sistem gabungan lumpur aktif membran ini dapat lebih baik bila dioperasikan pada SRT yang relatif lebih tinggi.

Pengaruh SRT terhadap MLSS dan kualitas keluaran

Pengaruh SRT terhadap MLSS dan kualitas keluaran dikaji dengan mengamati MLSS dan COD keluaran dalam keadaan tunak pada berbagai SRT. Dari gambar 3a-3d dapat dilihat bahwa semakin tinggi SRT, MLSS yang dicapai pada kondisi tunak semakin tinggi pula. Hal ini karena SRT dikendalikan dengan laju pembuangan lumpur. Bila SRT semakin tinggi maka volume lumpur yang dibuang tiap hari makin kecil sehingga MLSS yang tetap tinggal di dalam bioreaktor semakin besar. Kenaikan MLSS ini juga menunjukkan

bahwa laju pertumbuhan spesifik lebih besar dari pada laju kematian spesifik.

Bila SRT semakin tinggi, maka MLSS semakin besar, maka nisbah F/M makin kecil, sebab SRT berbanding terbalik dengan nisbah F/M (Sundstrom dan Klei, 1979). Pada SRT 24, 32, 40 dan 48 hari nisbah F/M berturut-turut adalah 0,77, 0,68, 0,64 dan 0,63 gCOD/(gMLSS.hari). Nisbah F/M yang semakin kecil akan membawa mikroba berada dalam keadaan kelaparan (*starved*) sehingga efisiensi penyisihan semakin besar.

Pada penelitian ini MLSS pada kondisi tunak masih relatif rendah, hampir sama dengan MLSS pada sistem lumpur aktif konvensional, walaupun sudah digunakan SRT 48 hari. Dan nisbah F/M juga masih relatif tinggi, sehingga kondisi ini masih dimungkinkan untuk meningkatkan SRT dalam rangka upaya peningkatan kinerja sistem. Dengan digunakan membran sebagai pengganti bak sedimentasi, maka memungkinkan proses beroperasi pada MLSS yang relatif lebih tinggi dibandingkan dengan proses konvensional. Hal ini akan memungkinkan berlangsungnya proses pengolahan limbah dengan efisiensi tinggi.

Proses pengolahan air limbah dengan SRT tinggi juga merupakan ciri dari proses lumpur aktif jenis *extended aeration*. Tujuan utama dari proses ini adalah untuk meminimalkan lumpur yang dibuang (Ramalho, 1978). Proses pengolahan berjalan pada nisbah F/M rendah yaitu antara 0,05 - 0,25 mgBOD/(mg.MLSS.hari) dan SRT antara 20 sampai 30 hari (Metcalf & Eddy, 1991). Penggunaan nisbah F/M yang rendah bagi sistem lumpur aktif konvensional mengakibatkan proses berlangsung pada HRT yang jauh lebih tinggi. Hal ini akan memerlukan volume bak aerasi yang lebih besar. Disamping itu penggunaan nisbah F/M yang rendah menyebabkan lumpur yang terbentuk sukar mengendap sehingga memerlukan waktu tinggal didalam bak sedimentasi lebih besar. Dengan digunakannya membran sebagai pengganti bak sedimentasi, maka proses pengolahan bisa berlangsung pada berbagai nisbah F/M tanpa dipengaruhi oleh karakteristik lumpur yang terbentuk.

Pengaruh SRT terhadap kualitas keluaran dapat dikaji dari perbandingan BOD dan COD dari umpan, substrat terlarut dalam bioreaktor dan keluaran (permeat) dari membran. Konsentrasi BOD, COD dan nisbah BOD/COD pada berbagai SRT selengkapnya disajikan dalam Tabel 1.

Dari Tabel 1 tersebut bisa diketahui bahwa perbandingan BOD/COD untuk umpan limbah cair industri tekstil rata-rata sebesar 0,66. Senyawa yang mempunyai perbandingan BOD/COD diatas 0,65 bisa diklasifikasikan ke dalam senyawa yang mudah terdegradasi (*readily biodegradable*). Dengan demikian limbah cair industri tekstil pada penelitian ini termasuk mudah terdegradasi oleh mikroba.

Tabel 1. Hasil perhitungan nisbah BOD/COD pada berbagai SRT

SRT, Hari	Sampel	COD, mg/l	BOD ₅ ^{kamar} , mg/l(*)	Nisbah BOD/COD
24	Umpan	1034	694	0,6712
	Bioreaktor	326	122	0,3742
	Permeat	198	83	0,4192
32	Umpan	1015	658	0,6483
	Bioreaktor	242	81	0,3347
	Permeat	126	52	0,4189
40	Umpan	997	649	0,6509
	Bioreaktor	168	55	0,3274
	Permeat	79	32,78	0,4149
48	Umpan	1014	666	0,6571
	Bioreaktor	92	24,44	0,2656
	Permeat	38	16,33	0,4298

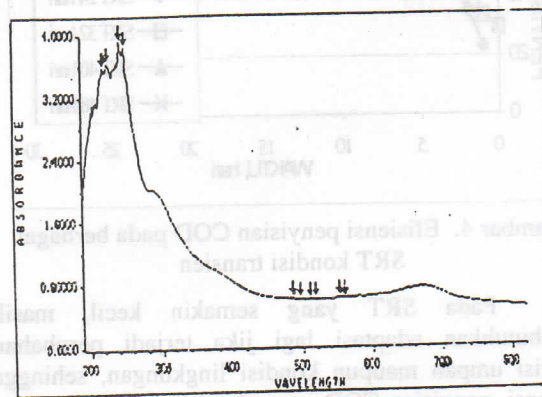
Keterangan : *) BOD₅^{kamar} dalam teks ditulis sebagai BOD

Dari Tabel 1 juga bisa diketahui bahwa perbandingan BOD/COD terlarut dalam bioreaktor semakin kecil seiring dengan kenaikan SRT. Hal ini menunjukkan dengan meningkatnya SRT, di dalam bioreaktor terkandung senyawa yang sukar terdegradasi oleh mikroba semakin besar. Senyawa ini kemungkinan berasal dari residu sel yang non biodegradabel, akibat sel lisis atau terjadinya respirasi endogen (*endogenous respirasi*). Bila SRT semakin tinggi, maka MLSS semakin besar dan nisbah F/M semakin kecil maka kemungkinan sel mengalami lisis juga semakin besar, sehingga residu sel non biodegradabel juga semakin besar. Pada penelitian ini, didapatkan laju peluruhan spesifik sebesar 0,151 hari⁻¹. Hal ini berarti ada 0,151 bagian komponen sel yang meluruh setiap hari. Disamping itu SRT dikendalikan dengan laju pembuangan lumpur dari bioreaktor. Bila SRT semakin besar maka laju pembuangan lumpur makin kecil, hal ini mengakibatkan senyawa-senyawa residu non biodegradabel tersebut akan terakumulasi di dalam bioreaktor, sehingga perbandingan BOD/COD makin menurun.

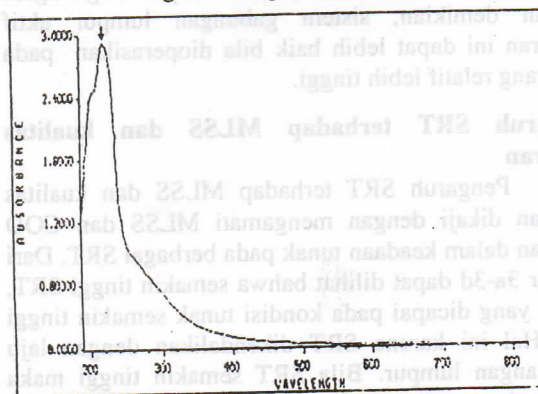
Perbandingan BOD/COD terlarut dalam bioreaktor pada berbagai SRT lebih kecil dari pada perbandingan BOD/COD dari umpan. Hal ini selain terbentuknya residu sel non biodegradabel, kemungkinan juga berasal dari polimer ekstraseluler yang terlarut dalam bioreaktor. Pada bagian luar sel mikroba selalu membentuk polimer heteropolisakarida yang sukar terdegradasi (Bitton, 1991). Seiring dengan kenaikan SRT, maka polimer ekstraseluler yang terbentuk semakin besar. Bila mikroba mengalami *respirasi endogenous*, polimer tersebut lepas dan menjadi produk terlarut dalam bioreaktor dan dikenal sebagai *soluble microbial product (SMP)* (Eckenfelder dan Musterman, 1995). Kenaikan SMP dalam bioreaktor akan menurunkan perbandingan BOD/COD.

Kualitas keluaran lebih lanjut dikaji dengan melihat perbandingan BOD/COD dari permeat. Perbandingan BOD/COD terlarut dalam permeat rata-rata sebesar 0,42. Nilai ini masih lebih besar bila dibandingkan dengan perbandingan BOD/COD dalam bioreaktor 0,32. Hal ini menunjukkan bahwa senyawa yang sukar terdegradasi oleh mikroba sebagian besar tertahan oleh membran dan substrat organik yang terdapat dalam permeat masih relatif mudah terdegradasi oleh mikroba.

Kualitas keluaran juga dikaji secara visual dan *scanning* secara kualitatif terhadap keluaran dan umpan. Secara visual, warna keluaran relatif jernih, berbeda dengan warna umpan limbah cair industri tekstil yaitu biru tua. *Scanning* dilakukan pada panjang gelombang antara 190-820 nm. Umpan mempunyai 10 puncak, dengan perincian 4 puncak pada daerah sinar tak tampak dan 6 puncak pada daerah sinar tampak. Sedangkan keluaran hanya mempunyai satu puncak pada daerah sinar tak tampak yaitu pada panjang gelombang 222 nm. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat grafik absorbansi vs panjang gelombang pada gambar 5. Dari gambar 5 dapat disimpulkan bahwa permeat tidak mengandung senyawa-senyawa yang ada dalam umpan. Senyawa-senyawa yang ada dalam umpan limbah kemungkinan terdegradasi selama proses pengolahan limbah atau terjadi interaksi dengan senyawa lain dan tertahan di dalam bioreaktor.



Gambar 5a. Absorbansi umpan pada panjang gelombang 190-820 nm.



Gambar 5b. Absorbansi permeat pada panjang gelombang 190-820 nm.

Kesimpulan dan Saran

Proses lumpur aktif-membran dapat mengolah limbah cair industri tekstil. Kondisi operasi membran yang digunakan pada TMP 0,4 bar, laju aliran silang 0,88 m/s, tekanan backflushing 1,6 bar, interval waktu backflushing 1,5 menit dan lama backflushing 1 detik. Dengan kondisi operasi tersebut mampu mempertahankan fluks stabil sebesar 5 l/(jam.m²) pada berbagai SRT.

Peningkatan SRT dari 24 sampai 48 hari, dapat meningkatkan kinerja proses dan kualitas keluaran. Penyisihan COD pada SRT 24, 32, 40 dan 48 hari berturut-turut 80,85%, 87,59%, 92,08% dan 96,25%. Dan kualitas keluaran makin baik dengan meningkatnya SRT, pada SRT 24, 32, 40 dan 48 hari berturut-turut 198, 126, 79 dan 38 mg/l COD. Nilai COD keluaran untuk semua SRT ini memenuhi baku mutu limbah cair industri tekstil yang ditetapkan pemerintah Republik Indonesia. Pengolahan limbah cair industri tekstil dengan proses lumpur aktif-membran akan lebih efektif menggunakan SRT yang lebih tinggi.

Setelah beroperasi dalam waktu lebih 20 hari kestabilan fluks relatif rendah yaitu sekitar 5 l/(jam.m²). Hal ini berarti terjadi fouling dalam waktu yang cukup lama dan terjadi kesetimbangan, yang tidak mampu diatasi dengan kondisi operasi membran saja. Fenomena ini perlu dikaji lebih lanjut untuk mengatasi fouling yang menjadi permasalahan pokok pada filtrasi membran.

Daftar Notasi

- F = laju alir volumetric
- F/M = nisbah pakan terhadap mikroba
- S = konsentrasi substrat
- V = volume bak aerasi
- X = konsentrasi mikroba dalam bak aerasi

Subskrip

- e = luaran
- o = masukan
- r = resirkulasi
- w = buangan dari bak aerasi

Daftar Pustaka

APHA, (1992), *Standard Methods for Examination of Water and Wastewater*, 18th ed., American Public Health Association, Washington.

Bitton, G.,(1994), *Wastewater Microbiology*, John Wiley & Sons, Inc., New York.

Budiyono, (1997), *Kombinasi Proses Lumpur Aktif-Membran untuk Pengolahan Limbah Cair Industri*, Tesis Magister, Program Studi Teknik Kimia, Program Pascasarjana, Institut Teknologi Bandung.

Eckenfelder, W.W., dan Musterman J.L., (1995), *Activated Sludge Treatment of Industrial Wastewater Treatment*, Technomic Publishing Co., Inc., Pennsylvania.

Grady, C.P.L. dan Lim, H.C., (1980), *Biological Wastewater Treatment : Theory and Applications*, Marcel Dekker, Inc., New York.

Heijnen, J.J., (1996), " Thermodynamics of Chemotrophic Growth and Maintenance", dalam *Advanced Course on Process Design in Enviromental Biotechnology*, Delft.

Meicalf & Eddy. (1991). *Wastewater Engineering, Treatment, Disposal, and Reuse*, Mc-Graw Hill, New York.

Ramalho, R.S., (1978), "Principles of Activated Sludge Treatment Part 1 Fundamental Concept ", *Hydrocarbon Processing*, 57(10), 112-118.

Sundstrom, D.W. dan Klei, H.E., (1979), *Wastewater Treatment*, Prentice-Hall International, Inc., London .

Suardiyono, (2000), *Gabungan Proses Lumpur Aktif-Membran untuk Pengolahan Limbah Cair Industri Tekstil*, Tesis Magister, Program Studi Teknik Kimia, Program Pascasarjana, Institut Teknologi Bandung.

Van Loosdrecht, M.C.M. dan Henze, M., (1999), "Maintenance, Endogeneous Respiration, Lysis, Decay and Predation", *Water Science & Technology*, 39(1), 107-117.

Urban, V., dkk., (1998), " Integration of Performance, Molecular Biology and Modeling to Describe the Activated Sludge Process", *Water Science & Technology*, 37(3), 223-229.