

AKTIFITAS MIKROBA LUMPUR AKTIF KONSENTRASI TINGGI PADA SISTEM LUMPUR AKTIF – MEMBRAN

Budiyono¹⁾, T. Setiadi²⁾ dan I G. Wenten²⁾

Abstrak

Pengolahan air limbah dengan sistem kombinasi proses lumpur aktif dengan membran telah banyak dimanfaatkan di beberapa negara maju. Sistem ini diketahui mampu beroperasi dengan konsentrasi lumpur aktif (MLSS, Mixed Liquor Suspended Solid) sangat tinggi sehingga menghasilkan sistem yang kompak dengan efisiensi pengolahan tinggi. Penelitian ini mengkaji aktifitas mikroba yang terlibat dalam sistem. Aktifitas yang dikaji antara lain laju pemanfaatan oksigen spesifik (SOUR, specific oxygen uptake rate), parameter kinetika, serta laju pemanfaatan nitrogen dan fosfor.

Proses pengolahan berjalan pada konsentrasi MLSS jauh di atas proses lumpur aktif konvensional, yaitu berturut-turut 18.400, 22.900, 24.300, dan 25.500 mg/l. Untuk mendapatkan konsentrasi MLSS tersebut, proses pengolahan beroperasi pada waktu tinggal cairan (HRT, hydraulics retention time) 24 jam dan waktu tinggal sel (solid retention time, SRT) 8, 16, 24, dan 32 hari. Hasil penelitian menunjukkan bahwa mikroorganisme yang terlibat pada proses ini ditandai oleh mikroorganisme yang mempunyai laju pertumbuhan sangat lambat. Parameter kinetika yang diperoleh sebagai berikut : laju pertumbuhan maksimum spesifik (μ_{max}) 0,024 jam⁻¹, koefisien perolehan sel (Y) 0,515 (mg sel/mg COD), konstanta setengah jenuh (K_s) 589 mg/l, dan laju kematian spesifik (b) 0,010 jam⁻¹. Dengan semakin tinggi konsentrasi lumpur aktif, maka aktifitas mikroba akan semakin kecil. SOUR yang diperoleh untuk SRT 8, 16, 24, dan 32 hari berturut-turut sebesar 0,612, 0,357, 0,279, dan 0,207 gO₂/(gMLSS.hari). Bila ditinjau dari segi operasionalisasi unit pengolahan limbah, maka proses pengolahan lumpur aktif – membran jauh lebih menghemat kebutuhan nitrogen dan fosfor untuk nutrisi.

Kata kunci : aktifitas mikroba; sistem lumpur aktif-membran; SOUR

Pendahuluan

Pengolahan air limbah dengan sistem kombinasi proses lumpur aktif dengan membran telah banyak dipergunakan di beberapa negara maju. Sistem ini diketahui memiliki volume sangat kompak, efisiensi pengolahan tinggi, serta kualitas keluaran yang relatif seragam sebagai fungsi waktu.

Beberapa peneliti terdahulu telah melakukan penelitian mengenai sistem lumpur aktif – membran tersebut. Yamamoto (1989), Bailey (1994), Trouve(1994), Futamura (1995), dan Muller (1995) telah melakukan penelitian ini dengan pembebanan organik bervariasi antara 0,021-0,2 mgCOD/(mgMLSS.hari). Konsentrasi COD umpan juga bervariasi antara lain 239 mg/l (Trouve, 1994), 263 mg/l (Yamamoto, 1989), 127 mg/l (Futamura, 1994), 500-3000 mg/l (Bailey, 1994), dan 860 mg/l (Bodzek, 1996). Keaktifan sel selama proses membran pada konsentrasi lumpur aktif rendah telah diketahui lebih kecil dari pada keaktifan sel mikroba dari proses lumpur aktif konvensional (Chang, 1995; Bodzek, 1996). Informasi tentang keaktifan sel pada berbagai laju pembebanan khususnya pada konsentrasi MLSS

tinggi belum ditemukan. Di samping itu juga belum ditemukannya parameter kinetika yang bisa ditentukan dari beberapa penelitian tersebut. Penelitian ini dititikberatkan untuk mempelajari keaktifan sel pada berbagai pembebanan. Parameter kinetika pertumbuhan mikroba pada sistem yang bersangkutan juga akan ditentukan. Lebih lanjut, penelitian ini juga akan mengkaji fraksi penggunaan energi oleh mikroba selama pemanfaatan substrat.

Materi dan Metoda

Bahan dan peralatan

Untuk melaksanakan penelitian ini maka dikembangkan peralatan kombinasi proses lumpur aktif dengan membran. Bak aerasi terbuat dari plexy glass dengan volume kerja 9 liter. Membran yang digunakan mempunyai konfigurasi hollow fiber, terbuat dari polieter sulfone dengan luas 0,025 m². Rangkaian alat selengkapnya tersaji pada gambar 1. Limbah yang digunakan merupakan limbah tapioka sintesis dengan COD 14.250 mg/l. Komposisi air limbah sintesis mengikuti komposisi yang digunakan oleh Yamamoto (1989) dan tersaji pada Tabel 1.

¹⁾ Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Diponegoro Semarang
Jl. Prof Sudarto, SH No. 1 Kampus Tembalang Semarang

²⁾ Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknologi Industri ITB
Jl. Ganesha 10 Bandung

Tabel 1. Komposisi air limbah tapioka sintetis

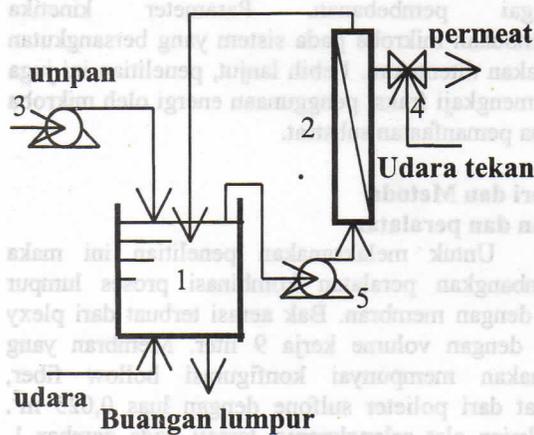
Komponen	Konsentrasi, mg/l
Tepung tapioka	12.955
(NH ₄) ₂ SO ₄	1.600
KH ₂ PO ₄	320
FeCl ₃ .6H ₂ O	2
MnSO ₄ .6H ₂ O	36
CaCl ₂ .2H ₂ O	40
MgSO ₄ .7H ₂ O	400

Aklimatisasi dan proses pengolahan air limbah

Mikroba yang digunakan untuk pembibitan diperoleh dari lumpur aktif unit pengolahan air limbah industri tekstil. Metode pembibitan dilakukan secara *fill and draw*. Untuk meningkatkan MLSS, maka substrat yang ditambahkan adalah glukosa dan nutrisi dengan komposisi seperti pada Tabel 1 (tapioka digantikan dengan glukosa). Setelah mencapai MLSS sekitar 20.000 mg/l, mikroba selanjutnya dilakukan aklimatisasi menggunakan air limbah tapioka sintetis. Lumpur yang telah teraklimatisasi selanjutnya digunakan untuk percobaan utama. Percobaan utama dilakukan pada HRT 24 jam dan SRT bervariasi dari 8, 16, 24, dan 32 hari. Pengendalian stabilitas fluks dilakukan dengan menggunakan teknik backflushing. Backflushing dilakukan dengan mengembalikan aliran permeat menggunakan udara tekan selama 1 detik, tekanan 1,5 bar, dan selang waktu backflushing 2 menit. Data yang diamati selama percobaan yaitu konsentrasi MLSS pada berbagai SRT dalam keadaan tunak, dan SOUR.

Metoda analisa

Metode analisa MLSS dan SOUR mengacu *Standard Methods APHA 1992*.

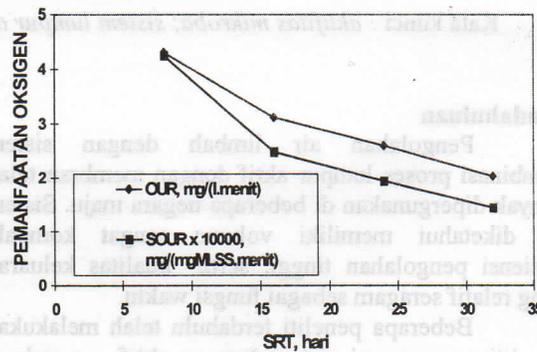


Gambar 1. Diagram skematis pengolahan air limbah dengan sistem lumpur aktif – membran. Keterangan : 1. Bak aerasi 2. Modul membran, 3. Pompa umpan; 4. unit *backflush* dengan udara tekan (katub 3 arah dan pengatur waktu); 5. Pompa resirkulasi lumpur.

Hasil dan Pembahasan Pengaruh SRT terhadap OUR dan SOUR

Laju pemanfaatan oksigen (*oxygen uptake rate*, OUR) dapat digunakan sebagai ukuran terhadap aktivitas biologik (*biological activity*) suatu mikroorganisme. Semakin tinggi OUR menunjukkan semakin tingginya aktivitas biologik. Laju pemanfaatan oksigen yang rendah menunjukkan aktivitas biologiknya rendah (Metcalf & Eddy, 1991). Bila OUR dibagi dengan MLSS maka disebut laju pemanfaatan oksigen spesifik (*specific oxygen uptake rate*, SOUR). SOUR disebut juga sebagai laju respirasi (*respiration rate*) yang dinyatakan dengan mgO₂/(mgMLSS.jam). Pengaruh SRT terhadap OUR dan SOUR dikaji dengan mengukur OUR dan SOUR untuk tiap-tiap kondisi tunak pada SRT yang bersangkutan. Hasil tersebut dipaparkan dalam grafik seperti tersaji pada Gambar 2.

Dari Gambar 2 dapat diketahui bahwa seiring dengan kenaikan SRT maka OUR dan SOUR akan semakin kecil. Hal ini menunjukkan bahwa aktivitas biologik dan laju respirasi akan menurun seiring dengan kenaikan SRT. Penurunan aktivitas biologik ini diperkirakan berhubungan dengan keterbatasan energi yang bisa diturunkan dari substrat. Aktivitas biologik akan meningkat bila energi yang tersedia semakin besar. Seiring dengan kenaikan SRT, maka MLSS akan meningkat dan energi yang bisa diperoleh dari substrat akan semakin kecil sehingga aktivitas biologik akan menurun.



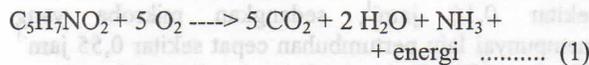
Gambar 2. Pengaruh SRT terhadap OUR dan SOUR.

Penurunan laju respirasi pada SRT tinggi diperkirakan berhubungan dengan penurunan fraksi sel yang bisa terdegradasi. Bila SRT semakin tinggi maka fraksi sel yang bisa terdegradasi akan semakin kecil (Eckenfelder, 1995). Selama respirasi, fraksi sel yang bisa terdegradasi akan teroksidasi menjadi karbondioksida, air, dan residu sel yang non biodegradabel (*nonbiodegradable residual cell*). Bila fraksi sel yang bisa terdegradasi semakin kecil, maka laju respirasi akan semakin kecil.

Pembahasan mengenai pengaruh SRT terhadap OUR dan SOUR lebih dititikberatkan untuk mempelajari pengaruh SRT terhadap keaktifan sel dan laju respirasi. Data SOUR pada berbagai SRT tidak mencerminkan kebutuhan oksigen pada berbagai SRT.

Hal ini karena pada penentuan SOUR dilakukan secara curah (*batch*) tanpa adanya penambahan substrat. Oksigen yang dikonsumsi oleh sel selama penentuan SOUR lebih banyak digunakan untuk pernafasan endogen. Hal ini karena pada konsentrasi MLSS tinggi, mikroba akan dengan cepat memanfaatkan substrat dan selanjutnya fraksi sel biodegradabel akan teroksidasi dengan menggunakan oksigen yang masih tersedia. Kebutuhan oksigen pada berbagai SRT dengan kehadiran substrat yang cukup dibahas pada seksi berikutnya (Pengaruh SRT terhadap kebutuhan oksigen, nitrogen, dan fosfor).

Untuk menegaskan bahwa oksigen yang diperlukan mikroba selama pengukuran SOUR digunakan untuk pernafasan endogen, bisa dilakukan dengan memanfaatkan informasi konstanta laju kematian spesifik (*b*). Pada penelitian ini diperoleh laju kematian spesifik sebesar 0,248 mg sel/(mg sel total.hari). Harga tersebut menunjukkan bahwa fraksi sel yang terdegradasi tiap hari adalah sebesar 0,248. Perhitungan laju kematian spesifik tersaji pada seksi pembahasan mengenai parameter kinetika. Menurut Eckenfelder (1995), reaksi degradasi (oksidasi) sel selama pernafasan endogen bisa ditulis dengan persamaan 1



BM 113 5(32)

Dari persamaan (1) bisa diketahui bahwa untuk mengoksidasi 1 gram sel diperlukan 1,42 gram oksigen. Berdasarkan perhitungan tersebut maka untuk mengoksidasi 0,248 gram sel (sesuai dengan laju kematian spesifik) diperlukan oksigen sebesar 0,352 gram (0,248x1,42 gram). Dengan demikian laju pernafasan endogen dari studi ini diperoleh sebesar 0,352 gO₂/(gMLSS.hari).

SOUR yang diperoleh dari percobaan pada SRT 8, 16, 24, dan 32 hari berturut-turut sebesar 4,25x10⁻⁴, 2,48x10⁻⁴, 1,94x10⁻⁴, dan 1,44x10⁻⁴ gO₂/(gMLSS.menit). Bila hasil tersebut dinyatakan dalam gO₂/(gMLSS.hari) maka diperoleh SOUR berturut-turut sebesar 0,612, 0,357, 0,279, dan 0,207 gO₂/(gMLSS.hari). Bila harga SOUR pada berbagai SRT tersebut dirata-ratakan maka diperoleh SOUR rata-rata sebesar 0,364 mgO₂/(mgMLSS.hari). SOUR rata-rata ini memberikan penyimpangan 3,47 % dari kebutuhan oksigen yang diperlukan untuk pernafasan endogen. Dari keseluruhan data SOUR tersebut bisa disimpulkan bahwa oksigen yang dimanfaatkan mikroba selama pengukuran SOUR sebagian besar dimanfaatkan untuk pernafasan endogen. Hal tersebut menyebabkan bila SRT semakin tinggi maka SOUR semakin kecil karena fraksi sel yang bisa terdegradasi semakin kecil.

Parameter kinetika

Parameter kinetika pertumbuhan mikroorganime dari proses lumpur aktif bisa ditentukan dengan menggunakan teknik regresi (Reynolds, 1982). Parameter kinetika yang dimaksud terdiri laju pertumbuhan maksimum spesifik (μ_{max}), koefisien perolehan sel (*Y*), konstanta setengah jenuh (*K_s*), dan laju kematian spesifik (*b*). Secara skematis, proses pengolahan air limbah dengan dengan sistem lumpur aktif - membran sebagaimana tersaji pada Gambar 1, mirip dengan proses lumpur aktif konvensional dengan bak aerasi yang teraduk sempurna disertai resirkulasi lumpur. Dengan anggapan bahwa laju pertumbuhan mikroba mengikuti hukum Monod maka bisa disusun neraca massa sel dan substrat pada keadaan tunak sebagaimana dikembangkan oleh Reynolds (1982). Neraca massa sel dan substrat pada keadaan tunak tersaji pada persamaan (2) dan (3).

$$\frac{S_o - S}{X.HRT} = \left(\frac{1}{Y} \right) \left(\frac{1}{SRT} \right) + \frac{b}{Y} \dots\dots\dots (2)$$

$$\frac{S}{(1/SRT) + b} = \left(\frac{1}{\mu_{max}} \right) S + \frac{K_s}{\mu_{max}} \dots\dots\dots (3)$$

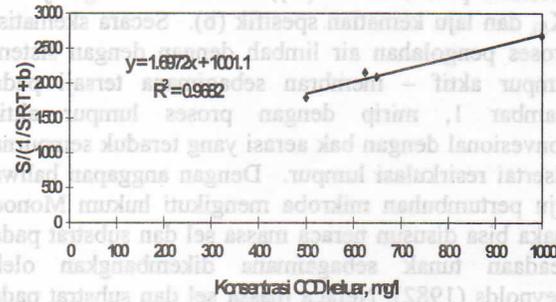
Persamaan (2) dan (3) merupakan persamaan garis lurus yang berpola *Y = mx + b*. Koefisien perolehan sel (*Y*) dan laju kematian spesifik (*b*) ditentukan dengan membuat aluran antara (*S_o-S*)/(*X.HRT*) dengan (1/*SRT*) dari persamaan (2). Kemiringan garis yang diperoleh memberikan harga 1/*Y* dan intersep yang diperoleh memberikan *b/Y*. Laju pertumbuhan maksimum spesifik (μ_{max}) dan konstanta setengah jenuh (*K_s*) ditentukan dengan membuat aluran antara *S*/(1/*SRT*+*b*) terhadap *S* dari persamaan (3). Kemiringan yang diperoleh mempunyai harga sama dengan 1/(μ_{max}). Intersep mempunyai harga sama dengan *K_s*/(μ_{max}). Grafik yang diperoleh seperti tersaji pada Gambar 3. Dari analisa secara grafis diperoleh harga parameter kinetika berturut-turut yaitu laju pertumbuhan maksimum spesifik 0,589 hari⁻¹, laju kematian spesifik 0,248 hari⁻¹, konstanta setengah jenuh 589 mg/l, dan koefisien perolehan sel 0,515 (mg sel/mg COD substrat).

Dari penelitian ini diperoleh bahwa harga laju pertumbuhan maksimum spesifik (μ_{max}) sangat kecil dan konstanta setengah jenuh (*K_s*) cukup besar. Harga μ_{max} dan *K_s* sangat dipengaruhi oleh jenis substrat dan jenis mikroorganime (Grady, 1980). Substrat yang sukar terdegradasi akan memberikan μ_{max} yang kecil dan *K_s* besar. Demikian sebaliknya bila substrat mudah terdegradasi. Mikroorganime yang mempunyai laju pertumbuhan lambat (*slow growing organism*) akan mempunyai μ_{max} kecil dan *K_s* besar. Demikian sebaliknya bila mikroorganime

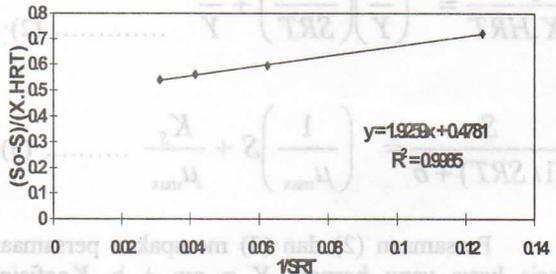
mempunyai laju pertumbuhan cepat (*fast growing organism*). Beberapa parameter kinetika yang diperoleh dari proses lumpur aktif konvensional dengan berbagai jenis substrat tersaji pada Tabel 2.

Tabel 2. Beberapa parameter kinetika dari proses lumpur aktif konvensional

Substrat/limbah	m_{max} , jam ⁻¹	Ks, mg/l	Basis	Sumber
Tekstil	0,29	86	BOD	Grady, 1980
Domestik	0,16-0,40	22-60	COD	Grady, 1980
Skim milk	0,1	100	BOD	Grady, 1980
Poultry	0,3	500	BOD	Grady, 1980
Soybean	0,5	355	BOD	Grady, 1980
Glukosa	0,31-0,77	11-181	COD	Grady, 1980
Pepton	0,26	109	BOD	Grady, 1980
Pemrosesan plastik	0,83	167	COD	Sundstrom, 1979
Fenol	0,46	1,66	BOD	Sundstrom, 1979
Tapioka	0,452	40,50	COD	Zulmanwardi, 1996
Tapioka	0,024	589	COD	Penelitian ini, 1997



(a) Penentuan laju pertumbuhan maksimum spesifik dan konstanta setengah jenuh



(b) penentuan koefisien perolehan sel dan laju kematian spesifik

Gambar 3. Penentuan parameter kinetika

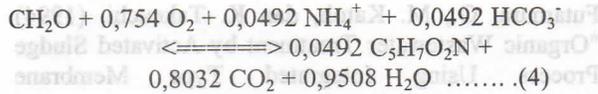
Dari Tabel 2 bisa diketahui bahwa bila dibandingkan dengan harga parameter kinetika dari beberapa jenis substrat pada proses lumpur aktif konvensional maka harga laju pertumbuhan spesifik yang diperoleh dari penelitian ini jauh lebih kecil. Harga Ks yang diperoleh lebih besar. Bila ditinjau dari jenis substrat, pada studi ini digunakan tapioka sebagai substrat. Tapioka adalah termasuk polisakarida yang relatif mudah terdegradasi. Pada proses pengolahan limbah secara aerobik, polisakarida dipecah menjadi mono sakarida. Monosakarida selanjutnya diubah menjadi asam piruvat pada tahap katabolisme (Grady, 1980). Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa rendahnya harga laju pertumbuhan maksimum spesifik yang diperoleh pada penelitian ini bukan disebabkan oleh jenis substrat tetapi disebabkan oleh jenis mikroorganismenya.

Mikroorganisme yang mempunyai laju pertumbuhan lambat biasanya memberikan μ_{max} sekitar 0,16 jam⁻¹, sedangkan mikroba yang mempunyai laju pertumbuhan cepat sekitar 0,55 jam⁻¹ (Grady, 1980). Pada penelitian ini diperoleh sebesar 0,589 hari⁻¹ (0,024 jam⁻¹). Dari harga tersebut bisa disimpulkan bahwa mikroorganismenya yang terlibat pada proses lumpur aktif dengan membran ditandai oleh mikroorganismenya yang mempunyai laju pertumbuhan sangat lambat. Sistem pengolahan air limbah dengan kombinasi proses lumpur aktif - membran diperkirakan memberikan komunitas mikroba yang berbeda dengan proses lumpur aktif konvensional. Hal ini diperkirakan disebabkan oleh tekanan dan turbulensi dari aliran di dalam membran.

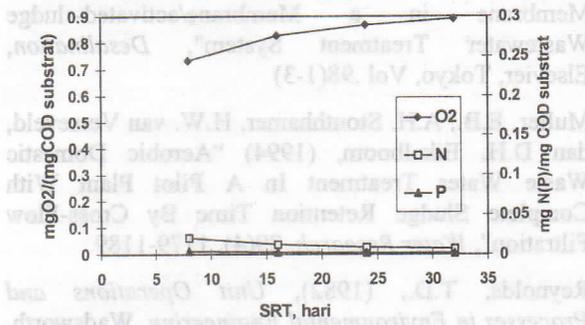
Pengaruh SRT terhadap kebutuhan oksigen, nitrogen, dan fosfor

Menurut Grady (1980), koefisien perolehan sel (Y) bisa digunakan untuk menyusun neraca pertumbuhan mikroba. Dari neraca tersebut bisa digunakan untuk menentukan jumlah asektor elektron dan nutrien yang diperlukan tiap gram donor elektron yang disisihkan. Pada penelitian ini digunakan asektor elektron adalah oksigen dan donor elektron tapioka. Tapioka merupakan karbohidrat dan bisa didekati dengan rumus CH₂O. Biomassa didekati dengan rumus molekul C₅H₇O₂N.

Pada berbagai SRT, maka kebutuhan oksigen dan nutrien akan berbeda-beda. Dengan bantuan neraca massa, neraca pertumbuhan mikroba pada berbagai SRT bisa disusn. Sebagai contoh neraca pertumbuhan mikroba pada SRT 8 hari tersaji pada persamaan (2).



Dari persamaan (4) bisa diketahui bahwa tiap pemanfaatan 1 mol tapioka oleh mikroba, maka diperlukan 0,754 mol oksigen dan 0,0492 mol NH₄⁺. Dengan kata lain, tiap pemanfaatan 1 gram COD tapioka memerlukan 0,731 gram oksigen dan 0,021 gram nitrogen. Bila kebutuhan fosfor didekati dengan seperlima kebutuhan nitrogen, maka tiap pengolahan 1 gram COD tapioka diperlukan 0,004 gram fosfor. Kebutuhan oksigen, nitrogen, dan fosfor pada berbagai SRT tersaji pada gambar 4.



Gambar 4. Kebutuhan oksigen, nitrogen, dan fosfor pada berbagai SRT

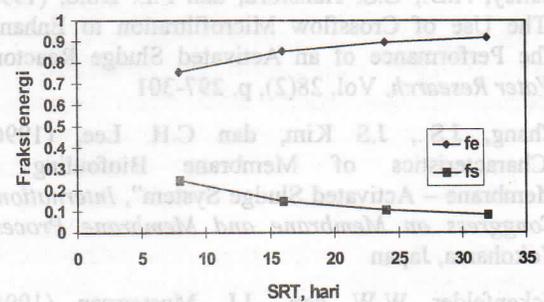
Dari gambar 4 bisa diketahui bahwa seiring dengan kenaikan SRT, maka tiap pemanfaatan gram substrat akan memerlukan oksigen yang semakin besar. Untuk memahami fenomena tersebut, maka diperlukan pembahasan mengenai kebutuhan oksigen untuk pemeliharaan dan sintesa pada SRT tertentu dan pembahasan mengenai kebutuhan energi untuk sintesa dan pemeliharaan seiring dengan kenaikan SRT. Pembahasan mengenai kebutuhan oksigen untuk sintesa dan pemeliharaan bertujuan untuk memperoleh informasi kebutuhan oksigen untuk oksidasi substrat menjadi karbondioksida (untuk pemeliharaan) dan kebutuhan oksigen untuk oksidasi substrat menjadi biomassa (untuk sintesa)

Menurut Reynolds (1982), oksigen yang diperlukan untuk menyisihkan 1 gram substrat selama pemeliharaan lebih besar dari pada untuk sintesa. Hal ini bisa ditinjau dari segi reaksi oksidasi yang terjadi. Selama reaksi oksidasi berlangsung akan terjadi pelepasan elektron dari substrat dan diterima oleh aseptor elektron. Jumlah elektron yang dilepas selama reaksi oksidasi tergantung pada perbedaan derajat reduksi (*degree of reduction*) antara substrat dengan senyawa yang dihasilkan. Selama pemeliharaan, substrat dioksidasi menjadi karbon dioksida dan air. Pada sintesa sel, substrat dioksidasi menjadi biomassa. Karbondioksida mempunyai derajat reduksi sama dengan nol, sedangkan biomassa mempunyai derajat reduksi 4,2 (Heijnen, 1994). Perbedaan derajat reduksi antara substrat dengan karbondioksida akan lebih besar dari pada substrat dengan biomassa (derajat reduksi

substrat tapioka tidak diketahui tetapi bisa digunakan sebagai acuan terhadap perbedaan derajat reduksi). Perbedaan derajat reduksi yang lebih besar akan melepaskan elektron lebih besar, sehingga akan memperbesar jumlah aseptor elektron (oksigen) yang diperlukan. Dengan demikian bisa disimpulkan bahwa oksidasi substrat menjadi karbondioksida akan memerlukan oksigen lebih besar dari pada oksidasi substrat menjadi biomassa. Dengan kata lain, tiap penyisihan 1 gram substrat akan memerlukan oksigen yang lebih besar selama pemeliharaan dari pada untuk sintesa. Pembahasan selanjutnya diarahkan untuk mengetahui penggunaan energi untuk sintesa dan pemeliharaan seiring dengan kenaikan SRT.

Sebagaimana telah dibahas pada seksi sebelumnya, penggunaan SRT yang semakin tinggi akan menghasilkan MLSS yang semakin tinggi. MLSS yang semakin besar akan memerlukan energi yang semakin besar untuk pemeliharaan. Dengan demikian fraksi energi yang diperlukan untuk sintesa akan semakin kecil karena konsentrasi substrat yang diberikan tetap. Perhitungan mengenai fraksi energi dari substrat yang digunakan untuk pemeliharaan dan sintesa bisa didekati dari neraca makroelemental. Hasil perhitungan fraksi energi yang diperlukan untuk pemeliharaan dan pertumbuhan pada berbagai SRT disajikan dalam bentuk grafik seperti pada Gambar 5.

Dari Gambar 5 bisa diketahui bahwa bila SRT makin besar maka fraksi energi yang diperlukan untuk pemeliharaan akan makin besar. Sebaliknya, fraksi energi yang diperlukan untuk sintesa makin kecil. Bila fraksi energi yang diperlukan untuk pemeliharaan makin besar, maka kebutuhan oksigen yang diperlukan juga akan semakin besar. Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa kebutuhan oksigen akan semakin besar seiring dengan kenaikan SRT.



Gambar 5. Fraksi kebutuhan energi untuk pemeliharaan (fe) dan pertumbuhan (fs) pada berbagai SRT.

Dari gambar 4 juga bisa diketahui bahwa kebutuhan nitrogen dan fosfor akan semakin kecil dengan kenaikan SRT. Seiring dengan kenaikan SRT, maka fraksi energi dari substrat yang diperlukan untuk sintesa akan semakin kecil (Gambar 5). Hal ini akan mengakibatkan kebutuhan nitrogen dan fosfor semakin kecil karena nitrogen dan fosfor hanya terlibat selama sintesa sel. Dengan demikian dapat

disimpulkan bahwa kebutuhan nitrogen dan fosfor akan semakin kecil seiring dengan kenaikan SRT.

Kesimpulan

Pada pengolahan air limbah dengan sistem lumpur aktif – membran, mikroorganismenya yang terlibat pada sistem ini ditandai oleh mikroorganismenya yang mempunyai laju pertumbuhan sangat lambat. Parameter kinetika yang diperoleh sebagai berikut : laju pertumbuhan maksimum spesifik $0,024 \text{ jam}^{-1}$, koefisien perolehan sel (Y) $0,515 \text{ (mg sel/mg COD)}$, konstanta setengah jenuh (K_s) 589 mg/l , dan laju kematian spesifik (b) $0,010 \text{ jam}^{-1}$. Dengan semakin tinggi konsentrasi lumpur aktif, maka aktifitas mikroba akan semakin kecil. SOUR yang diperoleh untuk SRT 8, 16, 24, dan 32 hari berturut-turut sebesar $0,612$, $0,357$, $0,279$, dan $0,207 \text{ gO}_2/\text{(gMLSS.hari)}$. Bila ditinjau dari segi operasionalisasi unit pengolahan limbah, maka proses pengolahan lumpur aktif – membran lebih menghemat kebutuhan nitrogen dan fosfor untuk nutrisi.

Daftar Notasi

- b = laju kematian spesifik
- f_e = fraksi energi untuk pemeliharaan
- f_s = fraksi energi untuk pertumbuhan
- K_s = konstanta setengah jenuh
- S_o = konsentrasi substrat umpan
- S = konsentrasi substrat keluaran
- X = konsentrasi sel, MLSS
- Y = koefisien perolehan sel
- μ_{max} = laju pertumbuhan maksimum spesifik

Daftar Pustaka

Bailey, A.D., G.S. Hansford, dan P.L. Dold, (1994) "The Use of Crossflow Microfiltration to Enhance The Performance of an Activated Sludge Reactor", *Water Research*, Vol. 28(2), p. 297-301

Chang, J.S., J.S Kim, dan C.H. Lee, (1996), "Characteristics of Membrane Biofouling In Membrane – Activated Sludge System", *International Congress on Membrane and Membrane Process*, Yokohama, Japan

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

Futamura, O., M. Katoh, dan K. Takeuchi, (1994) "Organic Wastewater Treatment by Activated Sludge Process Using Integrated Type Membrane Separation", *Desalination*, Elsevier Science B.V, Tokyo, Vol .98(1-3)

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

Heijnen,J.J., (1994), *Mass and energy balances in microbial growth*, Department of Biochemical Engineering, Delft University of Technology

Ishiguro, K., Imai, K., dan Sawada, S., (1994) "Effect of Biological Conditions on Permeate Flux of UF Membrane in a Membrane/activated-sludge Wastewater Treatment System", *Desalination*, Elsevier, Tokyo, Vol .98(1-3)

Muller, E.B., A.H. Stouthamer, H.W. van Verseveld, dan D.H. Eikelboom, (1994) "Aerobic Domestic Waste Water Treatment In A Pilot Plant With Complete Sludge Retention Time By Cross-Flow Filtration", *Water Research*, 29(4), 1179-1189

Reynolds, T.D., (1982), *Unit Operations and Processes in Environmental Engineering*, Wadsworth, Inc., Belmont, California

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

Touve, E., V. Urbain, dan J. Manem, (1994), "Treatment of Municipal Wastewater Treatment by A Membrane Bioreactor : Result of A Semi-Industrial Pilot-Scale Study", *Water Science and Technology*, 30(4),151-157

Wenten, I G., (1994) *Crossflow membrane filtration of industrial suspensions*, PhD Thesis, Department of Chemical Engineering, DTU, Denmark

Wenten, I G., (1995) "Mechanisms and Control of Fouling in Crossflow Microfiltration", *Journal of Filtration and Separation*, March, p. 252-253

Yamamoto, K., M. Hiasa, T. Mahmood, dan T. Matsuo, (1989) "Direct Solid-Liquid Separation Using Hollow Fiber Membrane In An Activated Sludge Aeration Tank", *Water Science Tec.* 21, 43-54

Zulmanwardi, (1996), *Kajian Parameter Kinetik yang Bermakna untuk Perencanaan Bioreaktor Proses Curah Bertahap Ulang dalam Pengolahan Limbah Industri Tapioka*, Tesis Magister, Program Studi Teknik Kimia, Program Pasca Sarjana, ITB, Bandung