

PENGARUH RASIO RESIRKULASI DAN KONSENTRASI COD INFLUEN TERHADAP KINERJA REAKTOR HIBRID AEROBIK

EFFECT OF RECIRCULATION RATIO AND COD FEED ON AEROBIC HYBRID REACTOR'S PERFORMANCE

Irene Arum AS¹⁾, Eddy Setiadi S²⁾, dan Gogh Yoedihanto²⁾

¹⁾Jurusan Teknik Lingkungan UII Yogyakarta

²⁾Jurusan Teknik Lingkungan FTSP-ITS Surabaya

Abstrak

Penelitian dalam skala laboratorium dilakukan untuk mengkaji pengaruh variasi rasio resirkulasi dan konsentrasi COD influen terhadap kinerja reaktor hibrid aerobik. Empat buah reaktor dioperasikan secara paralel dengan rasio resirkulasi 0 %, 25 %, 50 % dan 75 %. Limbah simulasi dengan konsentrasi COD 200 mg/l, 400 mg/l dan 600 mg/l digunakan sebagai influen reaktor. Hasil penelitian menunjukkan dengan meningkatnya rasio resirkulasi efisiensi penyisihan COD dan NH_4^+ meningkat. Sedangkan dengan meningkatnya konsentrasi COD influen efisiensi penyisihan COD dan NH_4^+ menurun. Dengan hydraulic retention time (HRT) 2 jam, didapatkan efisiensi penyisihan COD dan BOD terlarut sebesar 60–78 % dan 80–90 %. Untuk NH_4^+ diperoleh penyisihan sebesar 30–55 %. Walaupun terjadi penyisihan NH_4^+ , nitrifikasi tidak teridentifikasi.

Kata kunci : suspended growth, attached growth, hibrid, resirkulasi

Abstract

Hybrid aerobic laboratory scale reactor study was aimed to examine the reactor performance at different recirculation ratios and COD feed. Four reactors were constructed and run in parallel with recirculation ratio of 0%, 25%, 50%, and 75%. Using a synthetic wastewater, COD feeds were 200 mg/l, 400 mg/l, and 600 mg/l. The reactors performance, in fact, was affected by the recirculation ratio and COD feed. Higher recirculation ratio caused a better COD and ammonia removal. On the other hand, the removal decreased when COD feeds were increased. Based on the soluble COD and BOD concentration, the COD, BOD, and ammonia removal at two hour hydraulic retention time were 60 – 78%, 80 – 90%, and 30 – 55% respectively. Although the ammonia removal was happened, nitrification was not identified.

Keywords : suspended growth, attached growth, hybrid, resirkulation

1. PENDAHULUAN

Pengolahan limbah menjadi semakin penting tidak hanya untuk mencegah pencemaran tetapi juga untuk memenuhi standar baku mutu yang semakin lama semakin ketat. Berbagai upaya dilakukan untuk mendapatkan sistim pengolahan dengan kinerja terbaik dan dengan biaya seminimal mungkin. Penggabungan dua klasifikasi pengolahan biologis dalam bentuk suspended dan attached growth dalam satu reaktor mulai dikembangkan. Kombinasi proses ini yang biasa dikenal sebagai proses hibrid mampu meningkatkan penyisihan zat organik dan meningkatkan waktu retensi yang memungkinkan terjadinya proses nitrifikasi dan sekaligus dapat memperbaiki penyisihan nitrogen. Proses hibrid juga dapat memperbaiki penyisihan berbagai macam tipe zat organik pencemar karena adanya berbagai spesies bakteri yang berbeda, terutama yang memi-

liki tingkat pertumbuhan lambat yang tumbuh dalam biofilm.

Sebagai upaya agar penggunaan proses hibrid dapat berjalan efektif perlu diketahui kapabilitas, keterbatasan dan kondisi optimal operasionalnya.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh variasi resirkulasi lumpur terhadap kinerja proses hibrid aerobik serta pengaruh konsentrasi COD influen terhadap kinerja proses hibrid aerobik.

Proses pengolahan biologis umumnya memerlukan pemilihan antara proses *suspended growth* atau *attached growth*. Masing-masing proses memiliki kelebihan dan kekurangan. Untuk proses *suspended growth* umumnya menghasilkan efluen dengan kualitas yang lebih baik, sebagai unit *single stage*

memerlukan area dan utilitas lebih sedikit, memberikan respon yang lebih cepat terhadap tindakan kontrol, pengoperasian lebih sulit serta produksi lumpur lebih banyak

Untuk proses *attached growth*, umumnya memerlukan area lebih luas, biaya konstruksi lebih mahal, dapat menimbulkan masalah bau dan lalat, efluen tidak sebaik proses *suspended growth*, pengoperasian lebih mudah, biaya O & M relatif murah, serta kurang sensitif terhadap *shock loading*

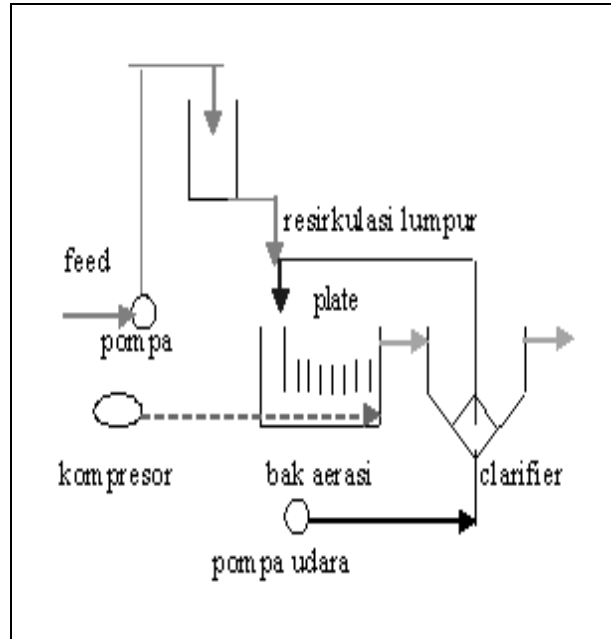
Upaya penggabungan kedua proses pengolahan di atas mulai dilakukan untuk menghasilkan pengolahan limbah dengan kinerja terbaik dan biaya seminimal mungkin. Prinsip utama proses ini adalah untuk mendapatkan ketahanan dan stabilitas proses *attached growth* dengan kualitas efluen sebaik proses *suspended growth*. Gabungan proses *suspended growth* dan *attached growth* dalam satu reaktor dikenal sebagai proses hibrid (Chen dkk, 1997; Muller, 1998; Ouyang dkk, 1999; Hamoda dkk, 2000).

Keuntungan penggunaan proses ini adalah kinerja yang diperoleh lebih tinggi karena biomassa yang tertahan dalam reaktor lebih banyak yang merupakan jumlah total biomassa tersuspensi dan biofilm, mempertinggi kemungkinan terjadinya proses nitrifikasi karena biofilm tidak tergantung siklus lumpur dan *hydraulic retention time* (HRT) sehingga umur lumpur biofilm lebih lama dibanding proses lumpur aktif, mempertinggi kemungkinan penyisihan berbagai macam polutan karena mikroorganisme *slow grower* dapat tumbuh dalam biofilm dan karakteristik pengendapan lebih baik karena SVI lebih rendah. Selain itu lumpur yang dihasilkan lebih sedikit dan fraksi organik lebih rendah sehingga memungkinkan penanganan lumpur lebih mudah dan murah

2. METODOLOGI

Reaktor yang dipergunakan yaitu material reaktor terbuat dari bahan acrylic dengan tebal 5 mm. Dimensi bak aerasi yang digunakan yaitu 35 cm x 20 cm x 30 cm se-banyak 4 buah. Media yang digunakan pada bak aerasi terbuat dari bahan acrylic dengan ketebalan 2 mm berbentuk plat, dengan dimensi 20 cm x 10 cm sebanyak 20 buah.

Skema reaktor proses hibrid yang dipergunakan dapat dilihat Gambar 1 berikut.



Gambar 1. Skema Alat Penelitian

Debit influen yang dipergunakan yaitu 160 l/menit dan debit udara (Q udara) 60 l/menit. Waktu detensi pada bak aerasi selama 2 jam sedangkan waktu detensi pada bak clarifier selama 1,5 jam

Variasi yang dipergunakan dalam penelitian ini adalah rasio resirkulasi dengan variasi 0 %, 25%, 50% dan 75%, serta konsentrasi COD influen dengan variasi 200, 400, 600 mg/l.

Sedangkan parameter penelitian yang dipergunakan meliputi COD, BOD_5 , NH_4^+ , NO_2^- , NO_3^- , BOD, SS, SVI, DO, suhu, pH

Limbah simulasi dengan rasio COD:N:P = 100:5:1 dibuat menggunakan sukrosa, amonium sulfat dan pupuk phosphat. Untuk mikronutrien digunakan produk jadi.

Sedangkan untuk proses *seeding*, limbah simulasi ditambah lumpur dari pengolahan biologis dari IPAL PT Sari Husada (perbandingan 1:2) dimasukkan ke dalam reaktor kemudian diaerasi selama ± 5 hari. Setelah 5 hari ditambahkan plate dan diaerasi selama 2 hari untuk menumbuhkan biofilm.

Start-up reaktor dilakukan setelah proses batch, mulai dilakukan proses kontinyu dengan resirkulasi maksimum untuk semua reaktor selama 1 – 2 hari. Setelah itu dilakukan pengaturan resirkulasi dan konsentrasi sesuai yang diinginkan secara bertahap. Setelah tercapai kondisi relatif stabil yang di-

tunjukkan dengan nilai COD efluen relatif stabil, alat dioperasikan selama ± 2 minggu.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Dari penelitian yang telah dilakukan didapatkan hasil yang secara lengkap dapat dilihat pada Tabel 1 sampai dengan Tabel 3.

Tabel 1. Hasil Penyisihan COD, NH₄⁺ Dan Nilai F/M Untuk Variasi I (COD ~ 200 mg/l, NH₄⁺ ~ 10 mg/l)

Resir kulasi	Penyisihan COD (%)	Penyisihan NH ₄ ⁺ (%)	MLSS aerator (g)	MLSS plate (g)	Total MLSS (g)	Total MLVS (g)	F/M (gBOD/gMLVS)
A= 75 %	78,60	51,07	28,92	1,402	30,322	26,380	1,14
B= 50 %	74,70	49,45	24,20	1,724	25,924	22,553	1,33
C= 25 %	67,59	46,25	20,50	2,768	23,268	20,243	1,48
D= 0 %	54,44	39,18	8,44	3,428	11,868	10,325	2,90

Tabel 2. Hasil Penyisihan COD, NH₄⁺ Dan Nilai F/M Untuk Variasi II (COD ~ 400 mg/l, NH₄⁺ ~ 20 mg/l)

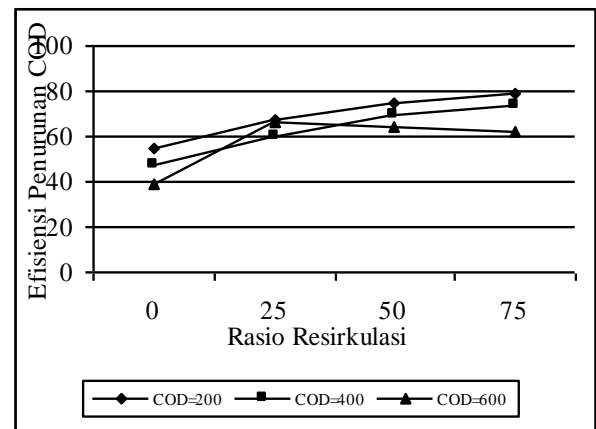
Resir kulasi	Penyisihan COD (%)	Penyisihan NH ₄ ⁺ (%)	MLSS aerator (g)	MLSS plate (g)	Total MLSS (g)	Total MLVS (g)	F/M (gBOD/gMLVS)
A= 75 %	73,59	46,51	41,30	3,316	44,616	38,815	1,54
B= 50 %	69,49	45,06	37,90	3,752	41,652	36,237	1,65
C= 25 %	60,41	37,78	33,70	4,662	38,362	33,374	1,79
D= 0 %	46,95	30,92	14,96	5,962	20,922	18,202	3,29

Tabel 3. Hasil Penyisihan COD, NH₄⁺ Dan Nilai F/M Untuk Variasi III (COD ~ 600 mg/l, NH₄⁺ ~ 30 mg/l)

Resir kulasi	Penyisihan COD (%)	Penyisihan NH ₄ ⁺ (%)	MLSS aerator (g)	MLSS plate (g)	Total MLSS (g)	Total MLVS (g)	F/M (gBOD/gMLVS)
A= 75 %	61,71	37,91	54,78	5,434	60,214	52,238	1,72
B= 50 %	64,48	40,07	51,36	5,442	56,802	49,417	1,82
C= 25 %	66,67	41,20	54,48	5,851	60,331	52,470	1,71
D= 0 %	39,00	26,13	24,70	7,250	3,95	27,796	3,23

Sebagaimana ditunjukkan dalam Gambar 1, dengan meningkatnya rasio resirkulasi, efisiensi penyisihan menjadi lebih tinggi. Ini disebabkan dengan bertambahnya resirkulasi, biomassa yang dikembalikan juga lebih banyak. Karena konsentrasi limbah tetap, hal ini menyebabkan rasio F/M menurun seperti ditampilkan pada Tabel 1 sampai dengan Tabel 3. Dengan jumlah biomassa yang bertambah, maka jumlah limbah yang didegradasi juga lebih

banyak sehingga efisiensi penyisihan meningkat. Seperti terlihat dalam Gambar 2.



Gambar 2. Hubungan rasio resirkulasi dengan efisiensi penyisihan COD

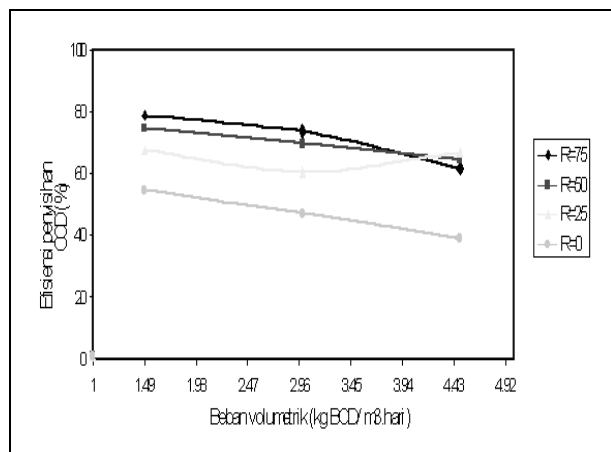
Untuk variasi COD 200 dan 400 mg/l dengan penurunan rasio resirkulasi dari 75% ke 50% menyebabkan turunnya efisiensi sebesar 4%; sedangkan penurunan rasio resirkulasi lebih lanjut menyebabkan turunnya efisiensi sebesar 9% dimana nilai ini lebih dari 2 kali lipat nilai sebelumnya. Ini menunjukkan bahwa rasio resirkulasi 75% dan 50% tidak memberikan efek yang terlalu berarti terhadap penyisihan COD, sedangkan penurunan rasio resirkulasi lebih lanjut, yaitu 25% memberikan efek yang lebih besar.

Untuk konsentrasi COD 600 mg/l, perbedaan rasio resirkulasi hanya memberikan perbedaan efisiensi sekitar 1 - 3 %. Efek dari variasi resirkulasi lumpur ini juga ditampilkan oleh Ouyang dkk (1999), dimana dengan rasio resirkulasi yang bertambah, secara umum konsentrasi COD dan NH₃ efluen menurun, walaupun penurunan tersebut tidak signifikan. Bahkan untuk HRT yang berbeda, COD efluen relatif tidak berubah secara signifikan. Dibandingkan dengan reaktor kontrol, adanya resirkulasi memberikan efek yang berarti terhadap peningkatan efisiensi penyisihan COD.

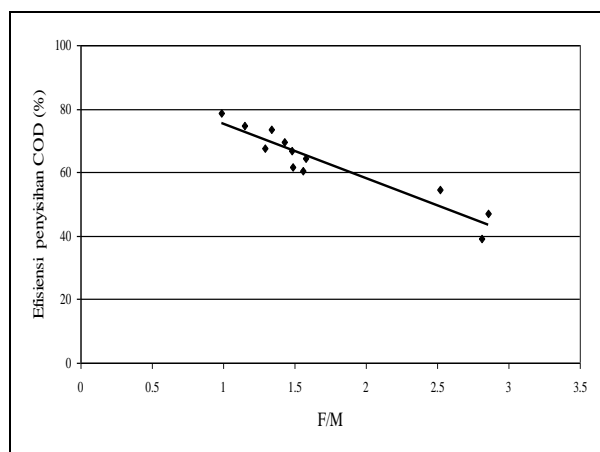
Efisiensi penyisihan BOD berkisar 80–90 % untuk reaktor dengan resirkulasi, sedangkan reaktor kontrol memberikan efisiensi penyisihan sekitar 60–70%. Dibandingkan Hamoda dkk, (2000) dan Ouyang dkk, (1999), nilai tersebut relatif lebih kecil. Ini disebabkan selain nilai hydraulic retention time (HRT) dalam penelitian lebih rendah, beban dalam penelitian ini juga lebih tinggi. Rasio BOD/COD mengalami penurunan dari 0,65 untuk influen

menjadi antara 0,29 – 0,49 untuk efluen tergantung dari rasio resirkulasi reaktor.

Karena debit tetap, efek dari variasi konsentrasi COD influen adalah memberikan perubahan terhadap beban reaktor. Peningkatan konsentrasi COD menyebabkan bertambahnya beban reaktor. Hubungan antara beban dengan efisiensi penyisihan COD, serupa dengan hubungan antara F/M dan efisiensi penyisihan COD sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 3 dan Gambar 4.



Gambar 3. Hubungan Beban Volumetric Dengan Efisiensi Penyisihan COD



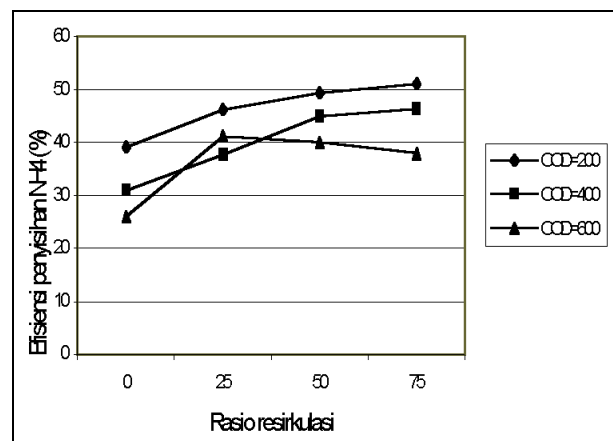
Gambar 4. Hubungan F/M Dengan Efisiensi Penyisihan COD

Dengan meningkatnya beban raktor, efisiensi penyisihan COD menurun. Penambahan beban ini berarti penambahan terhadap nilai F, sehingga efek penambahan beban ini dapat terwakili dengan penggunaan nilai F/M. Untuk variasi COD 600 mg/l, sebagaimana telah diutarakan sebelumnya, kecenderungan yang timbul berbeda dengan variasi COD 200 dan 400 mg/l. Hal ini dapat disebabkan

oleh timbulnya perbedaan kondisi yang terjadi selama operasi akibat aliran udara selama penelitian tetap. Selama pengoperasian, nilai DO, pH dan suhu rata-rata untuk variasi COD 200 dan 400 mg/l yaitu untuk DO > 2 mg/l, kecuali untuk COD 400 mg/l rasio 75 % dimana selama 2 hari pada akhir periode operasi konsentrasi DO 1,5 mg/l, pH 7,5 ± 0,3 dan suhu 27 ± 2

Pada variasi COD 600 mg/l konsentrasi DO turun menjadi di bawah 1 mg/l, yaitu 0,2 – 0,6 untuk rasio resirkulasi 75% dan 50 %; 0,3 – 0,9 untuk rasio resirkulasi 25 %; ± 3 untuk rasio resirkulasi 0 % sedangkan pH 7 ± 0,5 dan suhu 28 ± 2

Penyisihan NH₄ memberikan kecenderungan yang relatif sama sebagaimana untuk penyisihan COD seperti ditunjukkan pada Gambar 5, hanya saja efisiensi penyisihan NH₄ lebih rendah, yaitu 30-50%.



Gambar 5. Hubungan rasio resirkulasi dengan efisiensi penyisihan NH₄

Seperti efek rasio resirkulasi terhadap penyisihan COD, besarnya penyisihan amonia dipengaruhi oleh jumlah biomassa dalam bak aerasi, yaitu dengan bertambahnya resirkulasi. Karena biomassa yang dikembalikan juga lebih banyak, maka penyisihan NH₄ juga lebih besar, dimana sebagian nitrogen yang hilang digunakan untuk sintesa sel.

Efek konsentrasi COD influen adalah memberikan perubahan beban reaktor. Walaupun terjadi penyisihan NH₄ sebesar 30– 50 % untuk semua variasi COD, tampaknya nitrifikasi tidak teridentifikasi. Ini ditunjukkan dengan tidak adanya akumulasi NO₂ maupun NO₃.

Pada penelitian ini tidak terdeteksi adanya proses nitrifikasi yang dapat disebabkan oleh berbagai ke-

ungkinan. *Pertama*, adanya dominasi mikroorganisme heterotrof akibat tingginya konsentrasi COD. *Kedua*, HRT selama 2 (dua) jam bias jadi merupakan waktu kontak yang belum memadai. *Ketiga*, adanya material toksik ataupun defisiensi mikronutrien.

Dari hasil analisa (data tidak ditampilkan) timbul kecenderungan adanya denitrifikasi. Dalam proses aerobik, denitrifikasi dapat terjadi mengingat dalam flok maupun biofilm terdapat zone anoksik atau anaerobik (oksigen memiliki jarak penetrasi ke dalam biofilm sebesar 0,1 – 0,2 mm). Selain itu beberapa mikroorganisme heterotrof yang biasa terdapat dalam lumpur aktif maupun biofilm (*Ps. Aeruginosa* dan *Ps. Fluorescens*) teridentifikasi dalam penelitian ini mampu meman-faatkan senyawa NO_2 atau NO_3 sebagai aseptor elektron.

Pada saat start-up, untuk konsentrasi COD 200 mg/l dan 400 mg/l hanya diperlukan waktu 2-4 hari untuk mencapai kondisi “stabil” sedangkan untuk COD 600 mg/l perlu waktu sekitar 5–7 hari. Kondisi tersebut sebanding dengan penelitian lain yang memerlukan waktu sekitar 3 hari, 5 – 6 hari (Gupta, 2001).

Ditinjau dari biomassa yang terbentuk, dengan meningkatnya rasio resirkulasi dan konsentrasi COD influen, jumlah biomassa juga meningkat. Ini sesuai dengan Hamoda dkk, (2000), yang menyatakan bahwa beban organik berlebih yang diaplikasikan mendukung peningkatan pertumbuhan biomassa. Dari analisa MLSS nampak bahwa peningkatan konsentrasi COD menyebabkan jumlah total biomassa bertambah. Sedangkan dengan berkurangnya rasio resirkulasi, MLSS tersuspensi berkurang tetapi jumlah biomassa dalam plate bertambah seperti ditampilkan pada Tabel 1 sampai 3. Hal ini mungkin disebabkan dengan berkurangnya resirkulasi lumpur menyebabkan *surface substrate loading* meningkat. Menurut Tijhuis dkk, (1996), peningkatan *surface substrate loading* yang diikuti dengan rendahnya *detachment force* akan mempercepat pembentukan biofilm sehingga biofilm yang terbentuk lebih tebal.

Dengan bertambahnya konsentrasi yang berarti bertambahnya beban, lumpur menjadi berwarna lebih pucat. Ini sesuai dengan temuan dari Gupta (2001). Dengan bertambahnya waktu operasi dan beban yang diaplikasikan, bentuk lumpur juga mengalami perubahan yaitu timbul bentuk-bentuk se-

perti serat. Timbulnya lapisan ini dapat disebabkan oleh adsorpsi mikroorganisme tersuspensi ke dalam lapisan biofilm (Rostron dkk, 2001), dimana lapisan ini terus menebal dengan bertambahnya waktu operasi. Dapat juga disebabkan karena terjadi ga-bungan biomassa tersuspensi dan *sloughing* bio-film membentuk flok yang cukup berat sehingga ti-dak dapat terbawa aliran efluen dan tertahan pada plate.

Terbentuknya biofilm yang tebal dan *fluffy* juga nampak dalam reaktor terfluidisasi, dimana terbentuknya biofilm ini akibat rendahnya *shear liquid*. Hal ini menyebabkan pengamatan variabel ketebalan dan struktur biofilm menjadi rumit, padahal struktur dan ketebalan biofilm merupakan hal utama dalam disain proses. Hidrodinamika, mass transfer, dan konversi dalam reaktor biofilm tergantung dari variabel tersebut (Nicolella, 2000). Namun demikian biofilm yang tebal tidak menjamin proses penyisihan lebih baik dibanding biomassa yang tipis (ASCE, 1998).

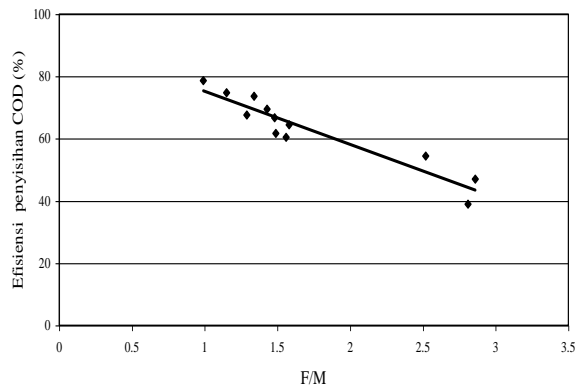
Pembentukan biofilm dan *sloughing* biofilm dapat memperberat flok (ASCE, 1998). Ini menjelaskan mengapa pada akhir periode penelitian SVI cenderung turun. Meskipun ada kecenderungan SVI mengecil dengan bertambahnya waktu operasi, nampaknya SVI tidak selalu dapat digunakan sebagai parameter untuk menunjukkan kualitas efluen dari clarifier. Khususnya untuk COD 600 mg/l, SS dari efluen clarifier relatif tinggi dan ditunjukkan dengan terdapatnya flok halus berwarna keputih-putihan yang mungkin disebabkan terjadinya *overloading*.

Dari analisa mikroskopis, pada awal operasi nampak bahwa pada flok terdapat filamen. Ini ditunjukkan dengan relatif lebih tingginya nilai SVI pada awal operasi. Adanya filamen ini nampaknya masih terdeteksi di akhir periode penelitian tetapi sudah tidak sebanyak pada awal operasi. Perlu diperhatikan, bahwa pengambilan sampel hanya dilakukan sekali secara grab sehingga kevalidan hasil perlu diteliti lebih lanjut.

4. KESIMPULAN DAN SARAN

4.1. Kesimpulan

Peningkatan rasio resirkulasi menyebabkan efisiensi penyisihan COD dan NH_4 meningkat. Sedangkan peningkatan konsentrasi COD influen menyebabkan efisiensi penyisihan COD dan NH_4 menu-



uari 2003.: 43 - 48

pat men-
5 terlarut
1 % serta
ipun ter-
entifika-
gan ber-

tambahnya waktu operasi. Namun ini tidak mem-
pengaruhi nilai SS efluen clarifier. Penggunaan
plate sebagai media pertumbuhan biofilm nampak-
nya memicu akumulasi biofilm “berserat (*fluffy*)
“di bagian atas media.

4.2. Saran

Karena nitrifikasi tidak teridentifikasi yang mungkin
disebabkan oleh rendahnya HRT dan umur lumpur,
perlu diteliti lebih lanjut untuk HRT dan umur
lumpur yang lebih lama, khususnya yang berkaitan
dengan proses nitrifikasi. Perlu penelitian lebih
lanjut terutama untuk pengaturan dan pemilihan
media serta kondisi hidrolisnya sebagai upaya un-
tuk lebih memahami timbulnya *fluffy* biofilm dan
peningkatan kinerja reaktor hibrid lebih lanjut.
Karena dalam penelitian ini sulit untuk menentu-
kan apakah proses suspended atau attached growth
yang lebih berperan, penelitian tentang keaktifan
masing-masing biomassa perlu dilakukan.

DAFTAR PUSTAKA

- Chen, G.H., Huang, J.C dan Irene M.C. (1997).
**Removal Of Rate-Limiting Organic Sub-
stances In A Hybrid Biological Reactor.**
Water Science and Technology. Vol. 35.
(6). Hal. 81-89
- Gupta. (2001). **Simultaneous Carbon And Nitro-
gen Removal From High Strength Do-
mestic Wastewater In An Aerobic RBC
Biofilm.** *Water Resources.* Vol.35. (7). Hal.
1714-1722

Hamoda, F., Al-Sharekh. M. dan Hamed. A.
(2000). **Performance Of A Combined Bio-
film-Suspended Growth System For Was-
tewater Treatment.** *Water Science and
Technology.* Vol. 41. (1). Hal. 167-175

Muller, N. (1998). **Implementing Biofilm Car-
riers Into Activated Sludge Processes – 15
Years Of Experience.** *Water Science and
Technology.* Vol. 37. (9). Hal. 167-174

Nicolella. (2000). **Particle-Based Biofilm Reactor
Technology, Review Paper.** *TIBTECH.*
July. 18.

Ouyang, C.F., Chuang, S.H., Su, J.L. (1999).
**Nitrogen And Phosphorus Removal In A
Combined Activated Sludge-RBC Proces-
ses.** *ROC (A).* Vol. 23. (2). Hal. 181-204

Rostron., Wendy, M., Stuckey, David, C., Young
dan Andrew, A. (2001). **Nitrification Of
High Strength Ammonia Wastewater:
Compa-rative Study Of Immobilisation
Media.** *Water Resources.* Vol. 35. (5). Hal.
1169-1178

Tijhuis, M., Hijman, C., van Loosdrecht, M., dan
Heijen, J.J. (1996). **Influence Of Detach-
ment, Substrate Loading And Reactor
Scale On The Formation Of Biofilm In
Airlift Reactor.** *Applied Microbiology
Biotechnology.* (45). Hal. 7–17

ASCE. (1998). **Design of Municipal Waste-water
Treatment Plants.** 4th ed. Vol.2.