

# PENGARUH RASIO MEDIA, RESIRKULASI DAN UMUR LUMPUR PADA REAKTOR HIBRID AEROBIK DALAM PENGOLAHAN LIMBAH ORGANIK

## THE EFFECT OF MEDIA RATIO, RECIRCULATION AND SLUDGE AGE AT AEROBIC HYBRID REACTOR IN ORGANIC WASTEWATER TREATMENT

M. Irfa'i<sup>1)</sup>, Gogh Yoedihanto<sup>2)</sup> dan Bowo Djoko Marsono<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup>Politeknik Kesehatan Banjarbaru

<sup>2)</sup>Jurusan Teknik Lingkungan FTSP-ITS Surabaya

### Abstrak

Untuk mendapatkan desain reaktor hibrid secara optimal perlu dilakukan pengujian dan pengkajian. Oleh karena itu dilakukan upaya optimalisasi kinerja reaktor hibrid aerobik dengan pengaturan rasio media, umur lumpur dan rasio resirkulasi. Penelitian ini dilakukan dalam skala laboratorium. Untuk mendapatkan penyisihan bahan organik secara optimal dilakukan dengan pengaturan rasio media (0%, 15%, 30% dan 45%), rasio resirkulasi (0%, 25%, 50% dan 75%) serta pengaturan umur lumpur (10 hari dan 20 hari). Hasil penelitian menunjukkan adanya pengaruh rasio media, rasio resirkulasi dan umur lumpur terhadap penyisihan bahan organik. Penyisihan *Chemical Oxygen Demand* (COD) sebesar 78,19% terjadi pada rasio media 30%, rasio resirkulasi 75% dengan umur lumpur 20 hari.

Kata kunci: rasio media, reaktor hibrid aerobik, resirkulasi, umur lumpur

### Abstract

The research was aimed to obtain optimized performance of aerobic hybrid reactor. This research was performed in laboratory-scale. In order to obtain an optimal reduction of organic content, variations of media ratio (0%, 15%, 30% and 45%), recirculation ratio (0%, 25%, 50% and 75%) and sludge age (10 days and 20 days) were made. The result showed that media ratio, recirculation ratio and sludge age gave significant effect to organic removal. The Chemical Oxygen Demand (COD) removal rate was 78,19% which occurred at 30% media ratio, 75% recirculation ratio and sludge age of 20 day.

Keywords: media ratio, aerobic hybrid reactor, recirculation, sludge age

## 1. PENDAHULUAN

Pengolahan air limbah secara biologis merupakan bentuk pengolahan kedua. Menurut Metcalf dan Eddy (1991), proses pengolahan limbah dengan cara biologis diklasifikasikan dalam dua jenis, yaitu pertumbuhan tersuspensi (*suspended growth*) dan pertumbuhan melekat (*attached growth*). Kedua jenis pengolahan tersebut umumnya dilakukan secara terpisah sehingga hasilnya bervariasi dan kurang memuaskan. Untuk itu perlu diupayakan pengolahan limbah secara biologis dengan menggabungkan kedua jenis pengolahan tersebut yang dinamakan reaktor hibrid.

Reaktor ini mampu mereduksi bahan organik lebih tinggi dalam waktu relatif singkat. Reaktor ini juga mampu mengolah bahan organik yang sulit diolah

dengan reaktor konvensional serta kemungkinan terjadi nitrifikasi sangat besar. Komposisi bakteri *suspended growth* maupun *attached growth* dalam reaktor baik jumlah maupun jenis sangat berpengaruh dalam mereduksi bahan organik air limbah. Dengan pengaturan rasio media terhadap volume reaktor, rasio resirkulasi dan pengaturan umur lumpur akan didapatkan komposisi bakteri baik jumlah maupun jenis secara tepat sesuai dengan air limbah yang diolah.

Reaktor hibrid saat ini menjadi alternatif pilihan dalam mengolah limbah karena mempunyai kinerja yang lebih tinggi dan mampu menyisihkan bahan organik yang tidak mudah terurai (Chen dkk, 1997). Dengan luas permukaan biofilm  $33,6 \text{ m}^2/\text{m}^3$  dan resirkulasi 100%, di dalam reaktor ini akan terjadi removal BOD *overall* di atas 94% dan

efisiensi removal COD 65 sampai 76,8% dalam *Hydraulic Retention Time* (HRT) 2, 4, 6 dan 8 jam. Selain itu juga memungkinkan terjadinya proses nitrifikasi dan dihasilkan lumpur yang sedikit (Hamoda dkk., 2000). Selain itu lumpur efluen reaktor hibrid dapat mudah diendapkan dan diolah, karena fraksi organik dalam lumpur lebih kecil (Muller, N. 1998). Penelitian yang dilakukan dalam reaktor dengan HRT 2 jam pada rasio resirkulasi 75% dapat menurunkan BOD<sub>5</sub> terlarut sebesar 80 sampai 90% dan COD sebesar 60 sampai 70% serta penyisihan NH<sub>4</sub><sup>+</sup> sebesar 30 sampai 55% (Irene, 2001).

Penelitian ini merupakan penelitian lanjutan/pengembangan dari penelitian yang telah dilakukan oleh peneliti sebelumnya (Chen dkk, 1997; Muller, 1998; Hamoda dkk, 2000; Irene, 2001) dimana dari penelitian tersebut reaktor ini belum dicoba pengaruh pengatiran umur lumpur, rasio media serta rasio resirkulasi pada suatu kombinasi dalam optimalisasi proses dan hasil. Oleh karena itu penelitian yang akan dilakukan adalah pengkajian terhadap rasio media terhadap volume reaktor. Jumlah media dalam reaktor akan berpengaruh pada luasan bidang media yang ada pada reaktor. Semakin besar rasio media semakin luas media yang ditumbuhi mikroorganisme. Demikian pula pengaruh rasio resirkulasi pada reaktor akan memberi kesempatan mikroorganisme mendegradasi substrat dalam reaktor. Disamping itu umur lumpur juga mempunyai peranan yang penting dalam proses reaktor hibrid. Umur lumpur menunjukkan seberapa lama waktu mikroorganisme berada dalam reaktor.

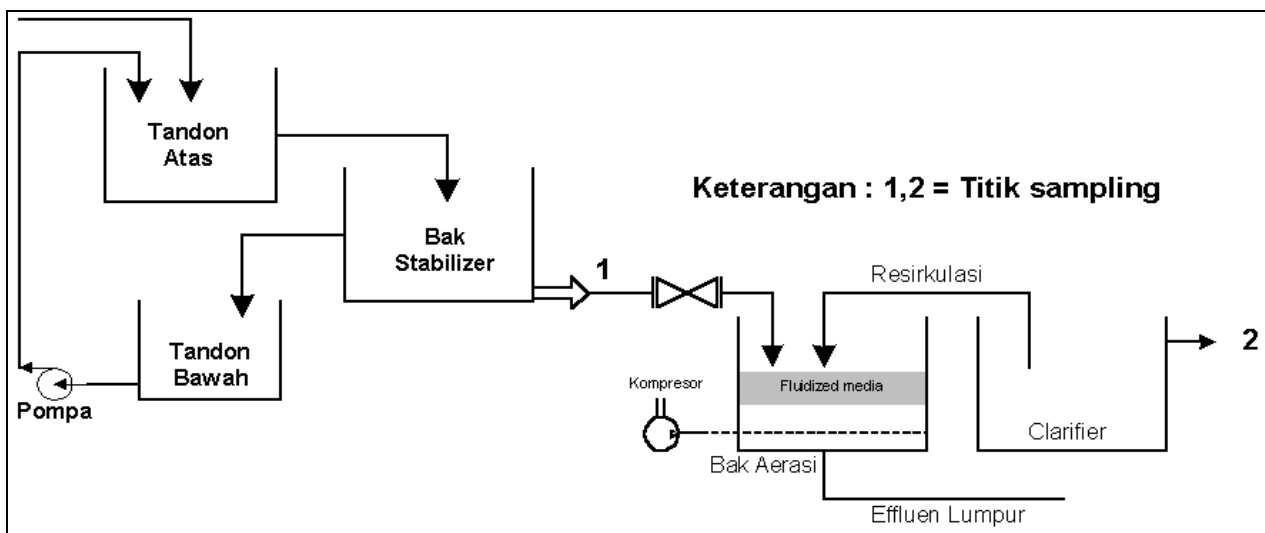
Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh rasio media, resirkulasi dan umur lumpur pada pengoperasian reaktor hibrid aerobik *fluidized* media dalam mereduksi bahan organik (COD) pada air limbah.

## 2. METODOLOGI

Penelitian ini dilakukan dalam skala laboratorium. Limbah buatan yang sudah diketahui kandungan COD-nya diuji coba pada reaktor hibrid aerobik.

Untuk mendapatkan penyisihan secara optimal dilakukan pengaturan rasio media (0%, 15%, 30% dan 45%), rasio resirkulasi (0%, 25%, 50% dan 75%) serta pengaturan umur lumpur (10 hari dan 20 hari). Sedangkan parameter yang diukur adalah COD, *Biological Oxygen Demand* (BOD), *Dissolved Oxygen* (DO), *Mixed Liquor Suspended Solids* (MLSS), *Mixed Liquor Volatile Suspended Solids* (MLVSS), *Sludge Volum Index* (SVI), pH, suhu dan massa biofilm. Analisis data hasil penelitian ditampilkan dalam bentuk grafik dan Tabel serta dilakukan analisis statistik.

Reaktor yang digunakan terdiri dari bak aerasi yang di lengkapi dengan variasi rasio media dan bak pengendap (*clarifier*) seperti terlihat pada Gambar 1. Media terbuat dari bahan *stereo foam* dan dibuat serupa biji-bijian berbentuk dadu dengan luas permukaan 1,5 cm<sup>2</sup>. Kriteria media dengan analisis pendahuluan didapatkan sebagai berikut, spesifik area media 3.277,5 cm<sup>2</sup>/l atau 327,7 m<sup>2</sup>/m<sup>3</sup>, kapasitas air media 370 ml/l atau 370 l/m<sup>3</sup>, berat jenis media lebih ringan dibanding air, berat kering media 39,99 gr/l atau 399,9 kg/m<sup>3</sup>.



Gambar 1. Skema Reaktor Penelitian

Untuk rasio media 15%, diperoleh butiran sebanyak 2.164 butir dengan luas permukaan 3.246 cm<sup>2</sup>, untuk rasio media 30% diperoleh butiran media sebanyak 4.327 butir dengan luas permukaan 6.490 cm<sup>2</sup> sedangkan untuk rasio media 45% didapatkan butiran sebanyak 6.491 butir dengan luas permukaan 9.736 cm<sup>2</sup>. Reaktor ini direncanakan memiliki waktu tinggal (*hydraulic loading*) sekitar 2 jam, *sludge loading* (SL) 0,5 m/jam dengan beban 600 mg COD/l serta debit 2,5 l/jam. Umur lumpur diatur dengan cara membuang cairan (limbah + MLSS) dari reaktor. Penetapan umur lumpur 10 hari dan 20 hari didasarkan atas kriteria dasar untuk umur lumpur *activated sludge* konvensional antara 4 sampai 15 hari. Pada umur lumpur 10 hari dilakukan pembuangan sebesar 0,25 l/jam, sedangkan umur lumpur 20 hari sebesar 0,125 l/jam. Untuk pengaturan resirkulasi dilakukan dengan jalan mengatur daya listrik yang diberikan pada pompa peristaltik yang sebelumnya telah dikalibrasi.

*Seeding* dilakukan secara *batch* dengan memasukkan limbah simulasi ke dalam reaktor serta menambahkan lumpur aktif sebagai *starter* bakteri yang berasal dari instalasi pengolahan limbah PT SIER. Pada tahap ini mikroorganisme diaklimatisasi dengan konsentrasi COD 200 mg/l, 400 mg/l, 500 mg/l dan 600 mg/l. Perbandingan antara limbah dengan lumpur 1:2, kemudian diaerasi selama 1 minggu. Setiap hari, mikroorganisme diberi limbah simulasi 3 sampai 4 kali. Ketika *seeding* selesai dilakukan akan diperoleh kondisi *steady state* yaitu kondisi dimana dihasilkan efluen yang stabil. Pada media dilakukan *seeding* pada reaktor *batch* dengan tujuan menumbuhkan biofilm yang melekat pada media. Proses penumbuhan biofilm diperlukan waktu 1 sampai 2 minggu. Media ditambahkan pada reaktor dan di-aerasi selama 3 hari. Setelah bakteri tumbuh pada kondisi *steady state* maka diteruskan proses kontinyu.

Setelah kondisi reaktor stabil dimana nilai COD efluen relatif stabil, maka alat dioperasikan selama 10 sampai 12 hari. Operasional ini juga berlaku untuk semua rasio media dan rasio resirkulasi pada umur lumpur 10 hari. Setelah selesai dilanjutkan pada umur lumpur 20 hari, dengan terlebih dahulu mengganti media yang baru. Selanjutnya dilakukan pengukuran penyisihan COD. Pada saat operasi dilakukan pengukuran indikator operasi yaitu DO, pH dan suhu serta dilakukan pengukuran MLSS, MLVSS dan SVI dengan rancangan eksperimen seperti terlihat pada Tabel 1.

**Tabel 1.** Rancangan Eksperimen

RR θ <sub>c</sub> RM	A		B		C		D	
	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y
1	1AX	1AY	1BX	1BY	1CX	1CY	1DX	1DY
2	2AX	2AY	2BX	2BY	2CX	2CY	2DX	2DY
3	3AX	3AY	3BX	3BY	3CX	3CY	3DX	3DY
4	4AX	4AY	4BX	4BY	4CX	4CY	4DX	4DY

Keterangan :

RR : Rasio Resirkulasi A:0%, B:25%, C:50%, D:75%

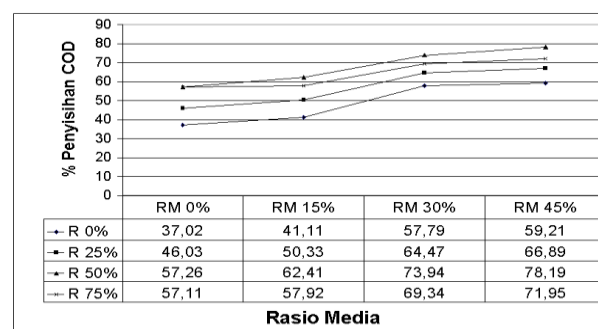
RM : Rasio Media 1:0%, 2:15%, 3:30 %, 4:45%.

θ<sub>c</sub> : Umur lumpur X: 10 hari, Y: 20 hari.

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

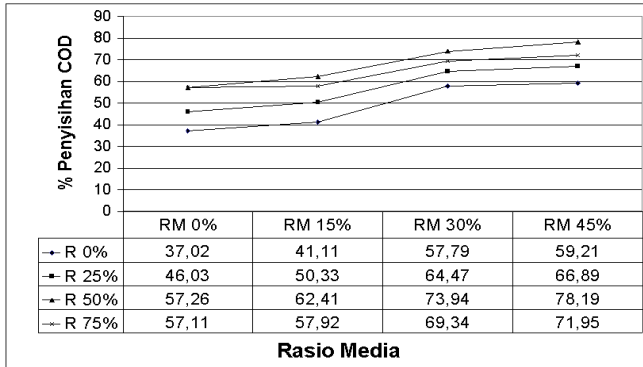
Hasil penelitian menunjukkan adanya peningkatan penyisihan COD pada penambahan media dalam reaktor. Penambahan media yang berlebihan tidak menyebabkan efisiensi penyisihan menjadi baik.

Peningkatan penyisihan yang optimal terjadi pada rasio media 30%, yaitu sebesar 52,45%, 55,83%, 74,44%, 77,09% dengan rasio resirkulasi berturut-turut adalah 0%, 25%, 50%, 75% pada umur lumpur 10 hari. Pada rasio media 45% terjadi penurunan penyisihan, walaupun tidak signifikan, penyisihan terjadi sebesar 50,24%, 51,45%, 71,39%, 72,62% dengan rasio resirkulasi 0%, 25%, 50%, 75% pada umur lumpur yang sama, seperti terlihat pada Gambar 2.



**Gambar 2.** Pengaruh Rasio Media Dan Resirkulasi Terhadap Penyisihan COD Pada Umur Lumpur 10 Hari

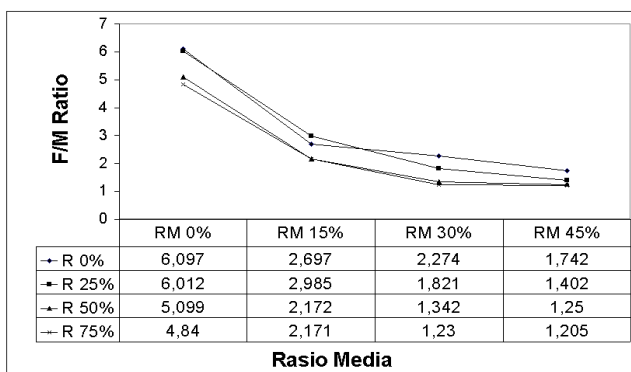
Hal serupa juga terjadi pada pengoperasian reaktor pada umur lumpur 20 hari. Penyisihan COD secara optimal terjadi pada rasio media 30% sebesar 57,26%, 62,41%, 73,94%, 78,19% dengan rasio resirkulasi 0%, 25%, 50%, 75%. Pada rasio media 45% terjadi juga penurunan penyisihan sebesar 57,11%, 57,92%, 69,34%, 71,95% dengan rasio resirkulasi yang sama, hal ini terlihat pada Gambar 3 berikut ini :



**Gambar 3.** Pengaruh Rasio Media Dan Resirkulasi Terhadap Penyisihan COD Pada Umur Lumpur 20 Hari

Fenomena di atas menunjukkan bahwa, penambahan media pada reaktor akan memberikan kesempatan tumbuhnya biofilm lebih banyak, sehingga akan meningkatkan jumlah MLVSS pada reaktor. Meningkatnya MLVSS pada reaktor akan menyebabkan semakin banyak bahan organik yang didegradasi, sehingga semakin besar pula penyisihan yang terjadi. Meningkatnya rasio media pada reaktor juga akan berpengaruh pada *Food/Microorganism* (F/M) rasio. Semakin besar rasio media ditingkatkan akan berakibat pada semakin kecil F/M Rasio.

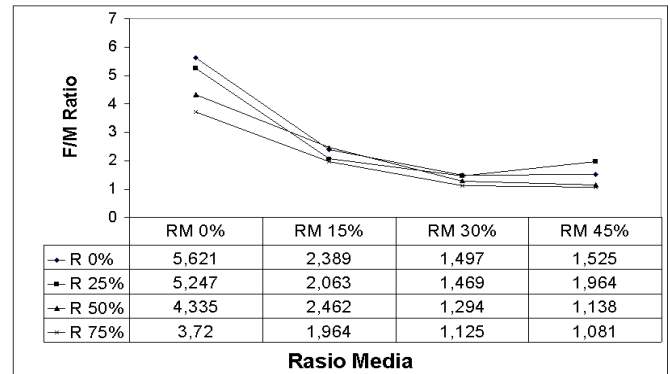
Untuk melihat Gambaran pengaruh media terhadap F/M rasio dapat dilihat pada Gambar 4 dan Gambar 5 sebagai berikut:



**Gambar 4.** Pengaruh Rasio Media Dan Resirkulasi Terhadap F/M Rasio Pada Umur Lumpur 10 Hari

Pada Gambar 4 dan 5 terlihat adanya peningkatan rasio media akan diikuti dengan penurunan F/M rasio. Penurunan F/M rasio terbesar terjadi pada rasio media 30%, sedangkan penambahan media menjadi 45% tidak memberikan perubahan yang berarti pada F/M rasio. Hal lain yang menyebabkan semakin rendahnya penyisihan pada media 45% adalah adanya keterbatasan oksigen terlarut yang tidak sebanding

dengan jumlah mikroorganisme dan substrat yang ada.



**Gambar 5.** Pengaruh Rasio Media Terhadap F/M Rasio Pada Umur Lumpur 20 Hari

Kondisi ini mengakibatkan aktifitas biofilm dalam mendegradasi bahan organik menjadi terbatas. Banyaknya media akan memperbanyak mikroorganisme *slow growing*, sedangkan mikroorganisme *fast growing* akan berkurang. Kondisi ini juga menyebabkan kemampuan penyisihan bahan organik (COD) menurun. Hasil ini sebanding dengan penelitian lain (Muller, 1998) yang menyatakan bahwa rasio media terhadap reaktor berkisar pada 18% sampai 28% dan dari beberapa tes menunjukkan bahwa apabila rasio ditingkatkan maka purifikasi tidak berjalan dengan baik. Penelitian di Jerman menunjukkan bahwa rasio media terhadap reaktor berkisar pada 16% sampai 26%.

Efisiensi penyisihan COD ini sebanding dengan penelitian Hamoda dkk. pada tahun 1998 yang menggunakan reaktor HASFF (*hybrid aerobic submerged fixed-film*), dimana diperoleh efisiensi penyisihan COD sebesar 65,7% sampai 76% dengan HRT 2 sampai 8 jam. Penelitian Ouyang dkk. (1999) pada tahun 1999 menunjukkan bahwa efisiensi COD lebih kecil, yaitu sebesar 85%. Hal ini dikarenakan HRT yang digunakan lebih lama yaitu 10 sampai 12 jam dan proses biofilm dilakukan secara *staging*. Penelitian yang dilakukan Irene pada tahun 2000 dengan beban dan HRT yang sama diperoleh penyisihan COD sebesar 36% sampai 61,7% dengan rasio resirkulasi 25% sampai 75%.

Pengaruh resirkulasi terhadap penyisihan COD akan mengikuti pola yang sama. Dari hasil penelitian diperoleh bahwa adanya resirkulasi akan meningkatkan penyisihan COD. Pada pengoperasian reaktor, ketika rasio resirkulasi ditingkatkan akan diikuti dengan peningkatan penyisihan COD. Pengaruh resirkulasi terhadap penyisihan COD yang dicapai pada rasio resir-

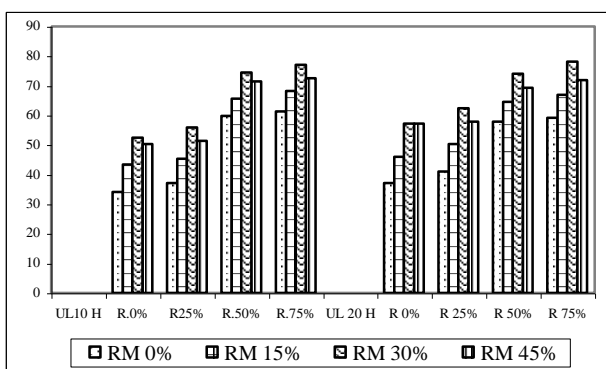
kulasi 75% adalah sebesar 61,35%, 68,25%, 77,09% dan 72,62% dengan rasio media secara berurutan adalah 0%, 15%, 30% dan 45% pada umur lumpur 10 hari. Pada umur 20 hari dengan rasio media dan rasio resirkulasi yang sama terjadi kenaikan penyisihan COD yang tidak berarti.

Peningkatan rasio resirkulasi yang diikuti dengan peningkatan penyisihan COD disebabkan karena rasio resirkulasi memberikan pengaruh terhadap jumlah biomassa dalam bak aerasi. Resirkulasi juga memberikan pengaruh pada pengenceran bahan organik yang akan diolah pada reaktor. Semakin besar resirkulasi diberikan maka semakin banyak biomassa yang dikembalikan ke reaktor. Demikian pula semakin besar rasio resirkulasi semakin besar pengenceran beban yang diberikan.

Rendahnya F/M rasio disebabkan meningkatnya jumlah biomassa dalam reaktor, sedangkan konsentrasi bahan organik limbah tetap. Keadaan ini menyebabkan rasio F/M menjadi turun. Dengan jumlah biomassa yang bertambah, maka jumlah bahan organik yang didegradasi semakin banyak sehingga efisiensi penyisihan meningkat.

Efisiensi penyisihan BOD lebih tinggi  $\pm 10\%$  dari efisiensi penyisihan COD. BOD yang dianalisis merupakan BOD *soluble* dari efluen reaktor. Rasio BOD/COD mengalami penurunan dari 0,67 untuk influen dan 0,16 sampai 0,5 untuk efluen. Umumnya rasio resirkulasi yang tinggi akan memberikan rasio BOD/COD efluen yang kecil.

Dari hasil penelitian diketahui bahwa terdapat peningkatan penyisihan bahan organik apabila umur lumpur ditingkatkan. Namun peningkatan yang terjadi tidak berarti seperti terlihat pada Gambar 6 di bawah ini.

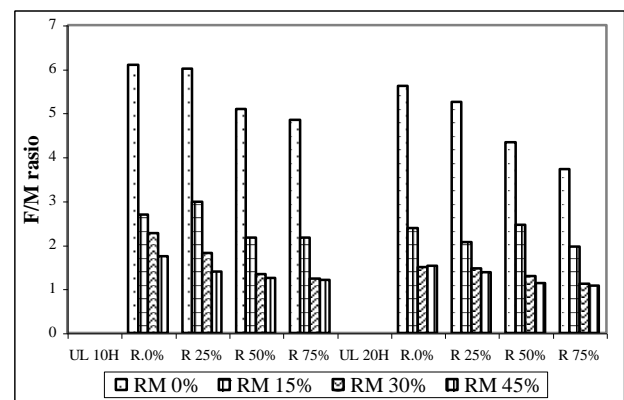


Gambar 6. Pengaruh Umur Lumpur Terhadap Penyisihan COD

Peningkatan umur lumpur juga akan diikuti dengan peningkatan penyisihan  $NH_4$  secara berarti. Peningkatan penyisihan COD dan  $NH_4$  tidaklah sebanding dengan peningkatan umur lumpur yang diaplikasikan. Tidak terjadinya peningkatan penyisihan bahan organik secara berarti disebabkan pengaturan umur lumpur dilakukan hanya pada mikroorganisme *suspended growth*, sedangkan mikroorganisme yang dominan dari segi jumlah adalah bakteri jenis *attached growth*.

Kemungkinan lain tidak meningkatnya penyisihan bahan organik dikarenakan rendahnya kandungan oksigen terlarut (DO) yang mempunyai titik terendah 0,7 mg/l. Kondisi ini mengakibatkan mikroorganisme mengkonsumsi bahan organik secara terbatas. Kecilnya pengaruh umur lumpur disebabkan adanya jumlah biofilm dalam reaktor yang dominan sehingga adanya pengaturan umur lumpur pada MLSS tidak berarti bila ditinjau dari segi F/M rasio. Sehingga pengaruh penyisihan bahan organik juga tidak berarti.

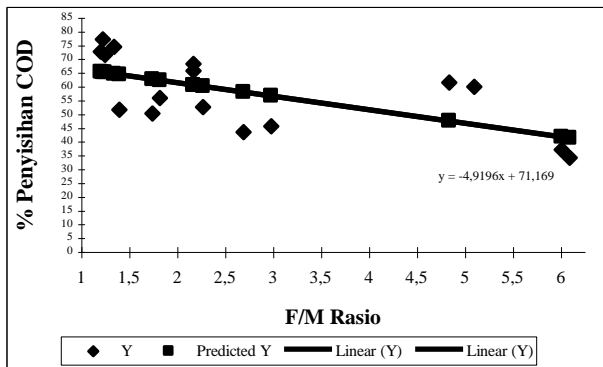
Peningkatan umur lumpur menyebabkan jumlah MLVSS dalam reaktor meningkat. Peningkatan umur lumpur akan diikuti dengan menurunnya F/M rasio seperti terlihat pada Gambar 7 berikut ini.



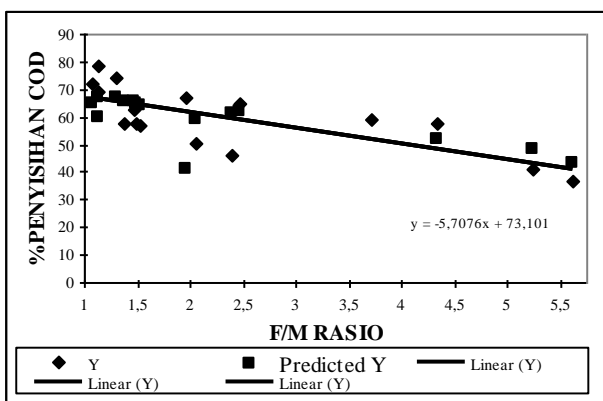
Gambar 7. Pengaruh Umur Lumpur Terhadap F/M Rasio

Dari Gambar 7 diatas terlihat penurunan F/M rasio ketika umur lumpur ditingkatkan dari 10 hari menjadi 20 hari walaupun penurunannya tidak berarti. Penurunan tersebut terjadi pada hampir seluruh variasi resirkulasi maupun rasio media.

Penurunan F/M rasio berakibat pada peningkatan efisiensi penyisihan COD, sehingga peningkatan umur lumpur yang di-lakukan juga akan menaikkan efisiensi penyisihan, walaupun tidak berarti. Pengaruh F/M rasio terhadap bahan organik terlihat pada Gambar 8 dan Gambar 9 berikut ini.



Gambar 8. Pengaruh F/M Rasio Terhadap Penyisihan COD Pada Umur Lumpur 10 Hari



Gambar 9. Pengaruh F/M Rasio Terhadap Penyisihan COD Pada Umur Lumpur 20 Hari

Dari Gambar 8 dan Gambar 9 terlihat adanya pengaruh yang jelas antara rasio F/M terhadap penyisihan bahan organik. Penurunan rasio F/M akan diikuti dengan peningkatan penyisihan COD. Pada Gambar diatas, F/M rasio terendah sebesar 1,2 memberikan pengaruh penyisihan COD sebesar 77%. Sedangkan F/M rasio tertinggi terjadi pada reaktor tanpa media sebesar 6,2 yang memberikan pengaruh penyisihan sebesar 34%. Pengaruh F/M rasio terhadap penyisihan COD pada umur lumpur 20 hari juga mengikuti pola yang sama. Hubungan antara F/M rasio terhadap persen penyisihan COD pada umur lumpur 10 hari secara matematis dapat dirumuskan  $Y = -4,92x + 71,17$ . Sedangkan untuk umur lumpur 20 hari hubungan antara F/M rasio terhadap persen penyisihan COD secara matematis dapat dirumuskan  $Y = -5,71x + 73,1$ .

Pada penelitian ini, beberapa hal yang perlu diperhatikan dalam pengoperasian alat meliputi pemasangan media (*styro foam*) diusahakan permukaan media terendam semua dalam air limbah. Mengingat be-

rat jenis media lebih ringan bila dibanding dengan air, maka untuk memenuhi persyaratan ini, media ditekan ke air limbah menggunakan kawat kasa.

#### 4. KESIMPULAN

Dari penelitian ini, dapat diambil kesimpulan sebagai berikut. *Pertama*, rasio media, rasio resirkulasi dan umur lumpur pada reaktor hibrid aerobik memberikan pengaruh sangat nyata terhadap penyisihan COD pada reaktor hibrid aerobik dengan tingkat kepercayaan 95% maupun 99%. *Kedua*, peningkatan rasio media, resirkulasi dan umur lumpur secara optimal dicapai pada rasio media 30% dengan penyisihan COD sebesar 77,09% (R 75%,  $\Theta_c$  10 hari) dan 78,19% (R 75%,  $\Theta_c$  20 hari) pada pembebanan COD influen 600 mg/l.

#### DAFTAR PUSTAKA.

- Chen, G., Huang, JAL., Irene M.C. (1997). **Removal Of Rate-Limiting Organic Substance In A Hybrid Biological Reactor.** *Water Science And Technology.* Vol. 35 (6). pp. 81 - 89.
- Hamoda, F., Mohammed, A., Ahmad, H. (2000). **Perfroment of Combined Biofilm-Suspended Growth System For Wastewater Treatment.** *Water Science And Technology.* Vol. 41(1). pp 167-175
- Irene, A.A.S. (2001). **Pengaruh Rasio Resirkulasi Dan Konsentrasi COD Influen Terhadap Kinerja Reaktor Hibrid Aerobik.** Tesis Program Pascasarjana Teknik Lingkungan. Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Surabaya.
- Metcalf dan Eddy. (1991). **Wastewater Engineering Treatment, Reuse, Disposal.** Mcgraw-Hill Series In Water Resources And Environmental Engineering.
- Muller, N. (1998). **Implementing Biofilm Carriers Into Activated Sludge Processes – 15 Years Of Experience.** *Water Science And Technology.* Vol. 37 (9). pp. 167 - 174 .
- Ouyang, C., Chuang, S., Su dan Jau-Lang. (1999). **Nitrogen And Phosphorus Removal In A Combined Activated Sludge-RBC Processes.** *ROC (A).* Vol. 23 (2). pp. 181 - 204.