

**PENGARUH FREKUENSI DAN WAKTU BACKWASH MEMBRAN TERHADAP
PENINGKATAN BIOMASSA PADA BIOREAKTOR MEMBRAN*****INFLUENCE OF BACKWASH FREQUENCY AND DURATION ON BIOMASS
INCREASEMENT USING MEMBRANE BIOREACTOR***

Dissa Samatha¹ dan Agus Jatnika Effendi²

Program Studi Teknik Lingkungan

Fakultas Teknik Sipil dan Lingkungan ITB, Jl Ganesha10 Bandung 40132

1dissa.samatha@yahoo.com dan 2agusje@tl.itb.ac.id

Abstrak: Penyumbatan (fouling) membran terjadi pada penggunaan bioreaktor membran (BRM) saat mengolah zat warna azo, zat warna yang paling sering digunakan dalam industri tekstil. Hal tersebut terjadi karena biomassa yang digunakan dalam pengolahan tertahan di permukaan membran, saat membran melakukan penyaringan. Penyumbatan biomassa biasanya diatasi dengan melakukan pencucian (backwash), dimana frekuensi banyaknya dan lamanya waktu pencucian dapat dilakukan bervariasi sesuai kebutuhan membran untuk menghilangkan biomassa di permukaannya. Pada penelitian ini, BRM yang memiliki tiga tangki, yaitu tangki anoksik, kontak, dan stabilisasi serta saluran pembuangan yang disebut permeate dioperasikan dengan tiga variasi waktu filtrasi dan backwash yang berbeda. Perbedaan waktu filtrasi dan backwash yang dioperasikan pada bioreaktor membran membuat keadaan operasional BRM berbeda tiap variasinya sehingga lingkungan pengolahan akan otomatis berubah juga. Lingkungan pengolahan ini sendiri merupakan faktor yang sangat penting dalam mendukung kehidupan biomassa di dalam pengolahan sehingga perubahan lingkungan akan memberikan efek kepada kehidupan biomassa. Hal tersebut terlihat pada tiap variasi yang dioperasikan mempunyai perbedaan jumlah biomassa yang cukup signifikan satu sama lainnya. Perbedaan ini menandakan bahwa waktu filtrasi dan backwash memberikan pengaruh terhadap peningkatan biomassa di dalam suatu pengolahan dengan bioreaktor membran.

Kata Kunci: Backwash, Peningkatan Biomassa, Penyumbatan, Waktu filtrasi dan Backwash

Abstract: Membrane fouling found on membrane bioreactor (MBR) operated for the treatment of azo dye, the most common dye used in textile industry. This fouling phenomenon occurred because the biomass, which used in this treatment, restrained on membrane surface during the filtration process. Usually, this biomass fouling cleaned with operating backwash, which the frequency and duration can vary depend on needs to remove biomass from membrane's surface. In this research, MBR, which has three tanks, anoxic, contact, and stabilization tank and also one waste system called permeate, operated in three different variations of filtration and backwash time. The Difference in filtration and backwash time made the MBR operational condition changed depends on which variation applied and this changed automatically affected the treatment's environment. Moreover, the treatment's environment has been an important factor in supporting biomass life, so it's changed would have an effect on biomass too. This condition happened when three different variations operated in the treatment and gave a significant difference on total biomass. The difference indicated that different filtration and backwash time would give an effect on biomass increasement in the treatment using membrane bioreactor.

Key words: Backwash, Biomass Increasement, Filtration and Backwash Time, Fouling

1. PENDAHULUAN

Zat warna azo merupakan zat warna yang paling sering digunakan dalam industri tekstil. Karena tergolong reaktif dan mempunyai sifat yang toksik dan mutagenik, pembuangan senyawa ini ke lingkungan akan menjadi pencemaran lingkungan. Warnanya akan menurunkan nilai estetik dan juga menurunkan kualitas badan air penerima (Georgiou et al, 2003). Untuk itu, dibutuhkan suatu pengolahan untuk mengolahnya terlebih dahulu sebelum dialirkan ke lingkungan. Bioreaktor membran adalah salah satu alternatif yang dapat digunakan untuk mengolah zat warna azo, dimana pada pengolahan ini biomassa berperan penting dalam pengolahannya.

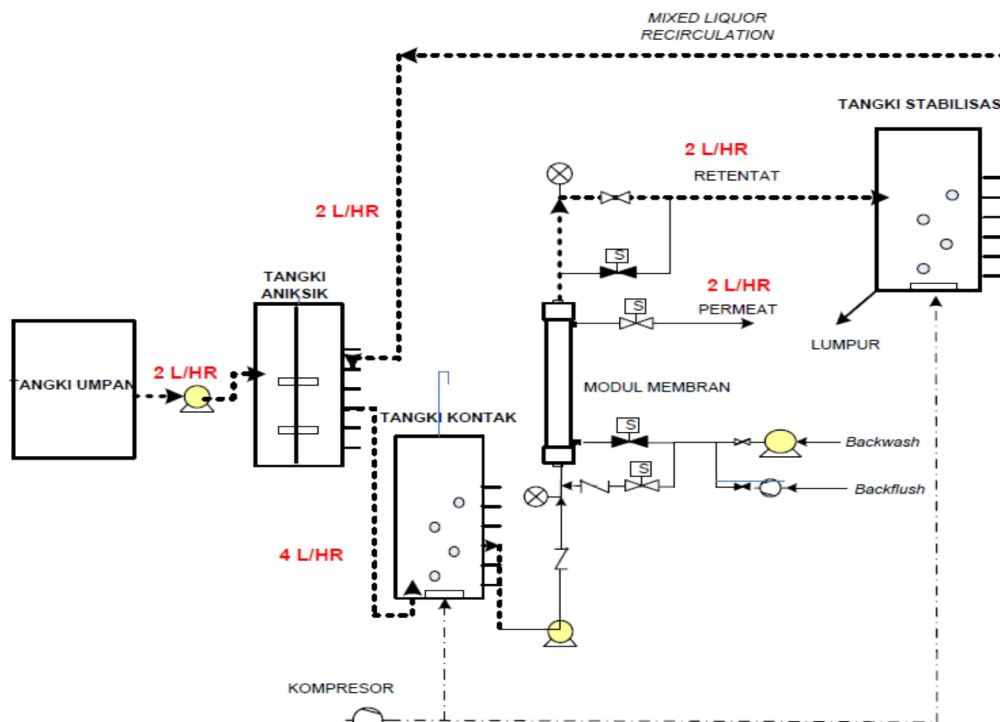
Bioreaktor membran (BRM) merupakan kombinasi proses lumpur aktif dengan sistem membran yang dapat meningkatkan efisiensi pengolahan dan membuat konfigurasi pengolahan yang lebih hemat lahan (Schoeberl et al, 2004). Pengembangan teknologi BRM telah banyak dilakukan mengingat banyaknya keuntungan yang ditawarkan dengan menggunakan pengolahan ini. Namun dibalik itu semua, penggunaan teknologi BRM mempunyai satu kelemahan yaitu terjadinya penyumbatan atau *fouling* (Choi et al, 2005). Penyumbatan ini merupakan masalah yang sangat serius pada penggunaan bioreaktor membran karena mempengaruhi kinerja pengolahan itu sendiri. *Fouling* yang terjadi pada membran, dalam pengolahan menggunakan bioreaktor membran, umumnya disebabkan oleh interaksi antara membran dan suspensi biologi (Choi et al., 2005). Tidak seperti pada pengolahan fisik air buangan dimana *fouling* umumnya disebabkan oleh karakteristik influen (Judd, 2006).

Cara mengatasi terjadinya *fouling* salah satunya adalah dengan melakukan pencucian dengan arah balik atau sering disebut *backwash*. Frekuensi banyaknya dan durasi lamanya *backwash* dapat dilakukan bervariasi disesuaikan dengan kebutuhan dari pengolahan tersebut. Hanya saja *backwash* yang dilakukan akan mempengaruhi kinerja membran sehingga dapat mempengaruhi pengolahan yang dilakukannya (Zhang et al, 2007). Proses pengolahan yang terjadi di bioreaktor membran ini erat kaitannya dengan keberadaan biomassa di dalamnya, dimana keadaan pengolahan yang sesuai yang dapat mendukung perkembangan biomassa tersebut (Judd, 2006). Sebagai tambahan, biomassa memegang peranan yang penting dalam sebuah pengolahan biologi. Kualitas efluen adalah hal yang akan dipengaruhi oleh jumlah biomassa di sebuah pengolahan.

Berdasarkan penjelasan di atas, maka dapat terlihat hubungan antara frekuensi dan durasi *backwash* yang dioperasikan pada pengolahan dengan jumlah biomassa di dalam pengolahan tersebut. Oleh karena itu, dalam penelitian ini akan diteliti pengaruh dari frekuensi banyaknya dan durasi lamanya waktu *backwash* terhadap peningkatan biomassa yang mungkin terjadi di bioreaktor membran.

2. METODOLOGI

Peralatan; Bioreaktor membran yang digunakan dalam penelitian ini adalah bioreaktor membran menggunakan membran *hollow fibre* tertanam dengan sistem ultrafiltrasi yang mempunyai 4 tangki yaitu: tangki umpan, tangki anoksik, tangki kontak, dan tangki stabilisasi serta satu aliran buangan disebut permeat. Adapun skema konfigurasinya dapat terlihat di Gambar 1 berikut ini:



Gambar 1. Skema konfigurasi bioreaktor membran

Bioreaktor membran dijalankan dengan kondisi operasional seperti yang terlihat pada Tabel 1 di bawah ini. Dalam melakukan penelitian, bioreaktor membran akan beroperasi untuk tiga variasi waktu filtrasi dan backwash yang berbeda. Tabel 2 akan memperlihatkan variasi-variasi yang dijalankan untuk kepentingan penelitian ini.

Tabel 1. Kondisi operasional bioreaktor membrane

Komponen	Keterangan
Umpan (<i>Feed</i>)	<ul style="list-style-type: none"> - Sebanyak 48 liter/hari yang terdiri dari: <ul style="list-style-type: none"> a. Zat warna Azo <i>Remazol Black 5</i> 120 ppm sebanyak 1 liter b. Limbah tempe (kosubstrat) sebanyak 5 liter c. Air sebanyak 42 liter d. NaOH - Dioperasikan dengan debit 2 liter/jam
Tangki Anoksik	- <i>Hydraulic retention time</i> diatur selama 4 jam
Tangki Kontak	- <i>Hydraulic retention time</i> diatur selama 2 jam
Tangki Stabilisasi	- <i>Hydraulic retention time</i> diatur selama 4 jam
Permeat	- Debit diatur sejumlah 2 liter/jam

Tabel 2. Variasi yang dijalankan

Variasi	Waktu Filtrasi (Jam)	Waktu <i>Backwash</i> (Menit)
I	2	1
II	1	1
III	1	0,5

Sampling; Pengambilan sampel dilakukan di tiap tangki yang ada di bioreaktor membran dan saluran permeat menggunakan botol sampel. Sampel diambil dari dasar tangki agar mendapatkan hasil yang cukup representatif.

Pengukuran; Pengukuran kandungan VSS dari sampel dilakukan dengan metode menggunakan kertas saring. Dimana sampel sebanyak 15 ml disaring menggunakan pompa vakum dan hasil penyaringan dimasukkan ke dalam oven dengan temperatur 105°C selama dua jam lalu ditimbang dan dipanaskan kembali di *furnace* 600 °C selama lima jam. Hasil selisih berat sampel setelah masuk oven dan setelah masuk *furnace* menjadi dasar analisis berat VSS. Hal ini dilakukan untuk tiap sampel yang berasal dari tangki-tangki dan permeat di bioreaktor membran.

Metode analisis; Dalam menentukan konsentrasi VSS, selisih antara berat sampel setelah masuk ke dalam oven (*total suspended solid*) dan setelah masuk ke *furnace* (*fixed suspended solid*) adalah dasar yang digunakan. Nilai konsentrasi VSS tersebut didapat dengan analisa menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$\text{Kandungan VSS} = \frac{(\text{Berat } 105 \times 1000000)}{\text{ml sampel}} - \frac{(\text{Berat } 600 \times 1000000)}{\text{ml sampel}} \quad (1)$$

Sedangkan dalam melakukan estimasi SRT yang dimiliki oleh bioreaktor membran, konsentrasi VSS di tiap tangki lah yang menjadi dasar dalam perhitungannya. Dimana nilai SRT pengolahan di dapat dengan menggunakan persamaan:

$$\text{SRT} = \frac{V_{\text{anoksik}} . X_{\text{an}} + V_{\text{kontak}} . X_{\text{kontak}} + V_{\text{stab}} . X_{\text{stab}}}{(q_w . X_s) . 24 \text{ jam}} \quad (2)$$

(Metcalf & Eddy, 2003)

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Peningkatan biomassa pada pengolahan dengan bioreaktor membran ditandai dengan adanya peningkatan kadar *volatile suspended solid* (VSS) yang terkandung di dalam keseluruhan sistem (tangki anoksik, tangki kontak, dan tangki stabilisasi) dan juga melihat banyaknya biomassa yang keluar dari sistem melalui permeat. Menurut Metcalf & Eddy (2003), peningkatan jumlah biomassa dapat diukur dengan nilai VSS karena biomassa didominasi oleh material organik. Walaupun pada kenyataannya, keseluruhan VSS tidak hanya terdiri dari biomassa tetapi juga materi organik lain yang berjumlah kecil.

Setiap variasi waktu filtrasi dan waktu *backwash* memiliki perbedaan kondisi operasional, hal ini dapat mempengaruhi keadaan pengolahan yang sedang berlangsung. Keadaan pengolahan tersebut erat kaitannya dengan keadaan biomassa yang berada di sistem pengolahan. Oleh karena itu, perbedaan variasi waktu filtrasi dan *backwash* mempengaruhi jumlah rata-rata VSS yang terdapat di bioreaktor.

Selain jumlah VSS, keadaan operasional yang berbeda akan memberikan perbedaan stabilitas sistem pengolahan secara keseluruhan. Stabilitas pengolahan tersebut dapat terlihat dari *sludge retention time* (SRT) harian yang dimiliki oleh bioreaktor membran saat variasi dijalankan. SRT menjadi parameter kestabilan sistem pengolahan ini karena pada dasarnya SRT memegang peranan yang sangat penting dalam proses operasi sistem, dimana secara teoritis merupakan rata-rata waktu biomassa berada di dalam pengolahan yang akan menentukan kualitas effluen (Judd, 2006). Adapun ukuran kestabilan pengolahan ini adalah pada saat SRT dapat dipertahankan selama dua hari.

- VSS rata-rata tiap variasi

Seperti yang telah disebutkan sebelumnya, banyaknya VSS yang terdapat dalam sistem pengolahan akan mengalami perubahan seiring berubahnya kondisi operasional bioreaktor akibat perubahan frekuensi dan durasi *backwash*. Adapun VSS rata-rata yang dimiliki keseluruhan pengolahan ini pada saat perbedaan variasi dapat dilihat pada Tabel 3 berikut.

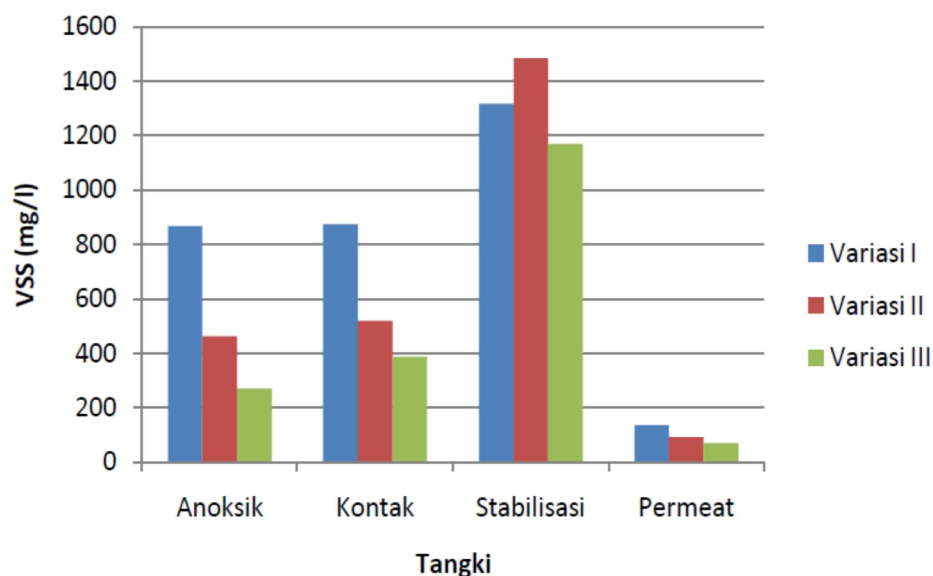
Tabel 3. VSS rata-rata yang dimiliki sistem pengolahan

Variasi	Rata-rata VSS (mg/l)			
	Anoksik	Kontak	Stabilisasi	Permeat
I	866	873	1315	136
II	462	519	1484	93
III	269	387	1169	70

Dari tabel di atas, terlihat bahwa total VSS yang berada di sistem pengolahan (tangki anoksik, tangki kontak, dan tangki stabilisasi) pada variasi pertama, dengan durasi filtrasi dua jam dan *backwash* satu jam, memiliki total VSS yang lebih tinggi dibanding variasi lainnya. Namun, pada variasi ini juga jumlah VSS yang keluar dari sistem pengolahan, yaitu pada permeat, memiliki nilai yang paling tinggi. Tingginya nilai permeat ini sangat berpotensi diakibatkan oleh kondisi operasional pengolahan terkait dengan intensitas *backwash* yang dilakukan. Dimana intensitas *backwash* tersebut mempengaruhi kinerja dari membran yang bersangkutan.

Pada variasi kedua, rata-rata VSS yang keluar pada permeat lebih kecil, namun jumlah biomassa yang diwakili oleh total VSS juga menjadi lebih kecil. Keadaan operasional yang diciptakan oleh intensitas *backwash* pada variasi ini terlihat tidak mengganggu kinerja penyaringan yang dimiliki membran, karena penurunan VSS pada permeat tersebut. Hanya saja, variasi ini tidak menghasilkan keadaan operasional yang cukup baik sehingga menghasilkan lingkungan yang cocok bagi biomassa untuk memperbanyak jumlahnya.

Sedangkan pada variasi ketiga, dengan waktu filtrasi 1 jam dan *backwash* 0,5 menit, jumlah biomassa yang ada di keseluruhan tangki pada bioreaktor membran ini mengalami penurunan dari variasi-variasi sebelumnya. Hal ini diakibatkan oleh intensitas pencucian yang dilakukan menyebabkan keadaan yang ada di pengolahan tidak cukup sesuai dengan kondisi optimal dimana biomassa dapat tumbuh. Dalam hal efluen yang dihasilkan, kandungan rata-rata VSS pada permeat mengalami penurunan. Penurunan tersebut menandakan bahwa kondisi yang diciptakan pada variasi kedua tidak mengganggu kondisi operasional dari membran saat membran beroperasi. Gambar 2 di bawah ini akan memperlihatkan perbandingan rata-rata VSS yang dimiliki tiap tangki di pengolahan pada variasi-variasi yang dioperasikan



Gambar 2. Perbandingan VSS tiap variasi

Dari beberapa variasi yang dijalankan, tampak sebuah kecenderungan bahwa banyaknya suspensi biologi yang terdapat dalam bioreaktor mempengaruhi kinerja dari membran itu sendiri. Kinerja membran dapat terlihat dari banyaknya VSS yang lolos dari membran dan keluar bersama permeat. Hal ini senada dengan beberapa penelitian yang pernah dilakukan, dimana banyak peneliti menemukan bahwa kinerja membran dapat bervariasi tergantung pada karakteristik biologi yang dimiliki oleh lumpur aktif. Suspensi biologi ini mempengaruhi pembentukan *cake layer* pada permukaan membran dan mempengaruhi kinerja dari membran yang bersangkutan (Hong et al, 2001)

Lebih lanjut lagi, banyaknya VSS yang terdapat di bioreaktor membran juga akan mempengaruhi efisiensi pengolahan yang dilakukannya. Hal tersebut dikarenakan semakin banyak VSS mengindikasikan semakin banyak biomassa yang terdapat di dalam pengolahan yang dapat mendegradasi materi organik sehingga efisiensi dari pengolahan tersebut meningkat. Menurut Judd (2006), lingkungan pengolahan yang baik akan mendukung kehidupan mikroorganisme dan menyebabkan penyisihan senyawa organik yang lebih tinggi, karena kemampuan mikroorganisme dalam menyisihkan senyawa organik tersebut.

- SRT Pengolahan

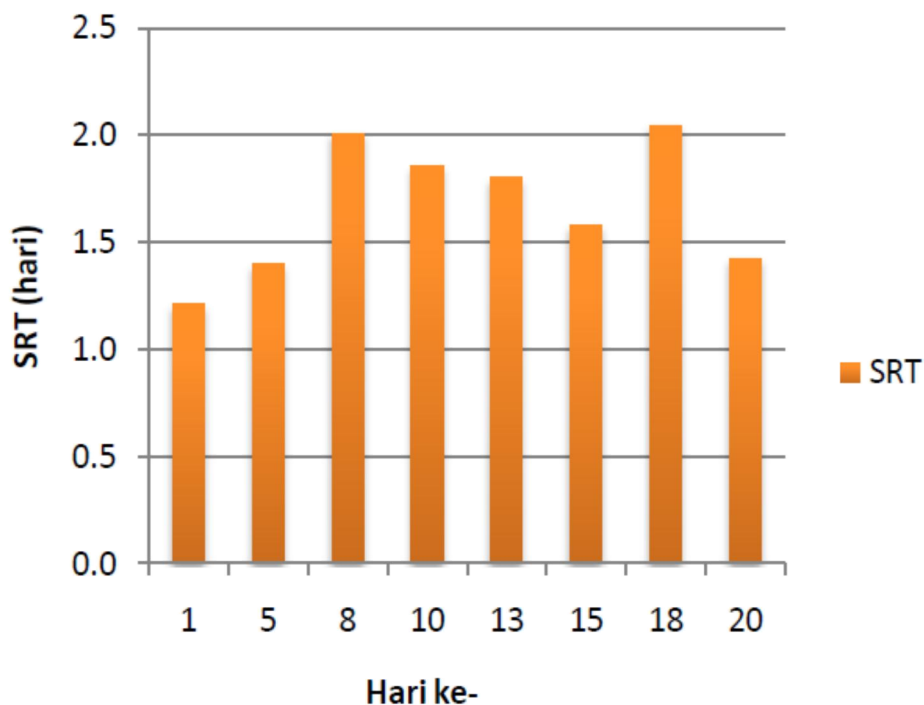
Pengaruh yang dihasilkan oleh perbedaan waktu filtrasi dan *backwash* saat pengoperasian bioreaktor membran terhadap VSS atau biomassa didalamnya, secara tidak langsung akan mempengaruhi *sludge retention time* yang dimiliki oleh pengolahan tersebut. Bioreaktor membran ini haruslah dijaga hingga memiliki SRT selama 2 hari. Dari variasi-variasi yang telah dijalankan terdapat perbedaan yang cukup signifikan pada SRT yang dimiliki bioreaktor membran saat variasi yang bersangkutan dijalankan. Rata-rata SRT yang dimiliki pada tiap variasi terlihat pada Tabel 4 berikut ini.

Tabel 4. Rata-rata SRT yang dimiliki bioreaktor membrane

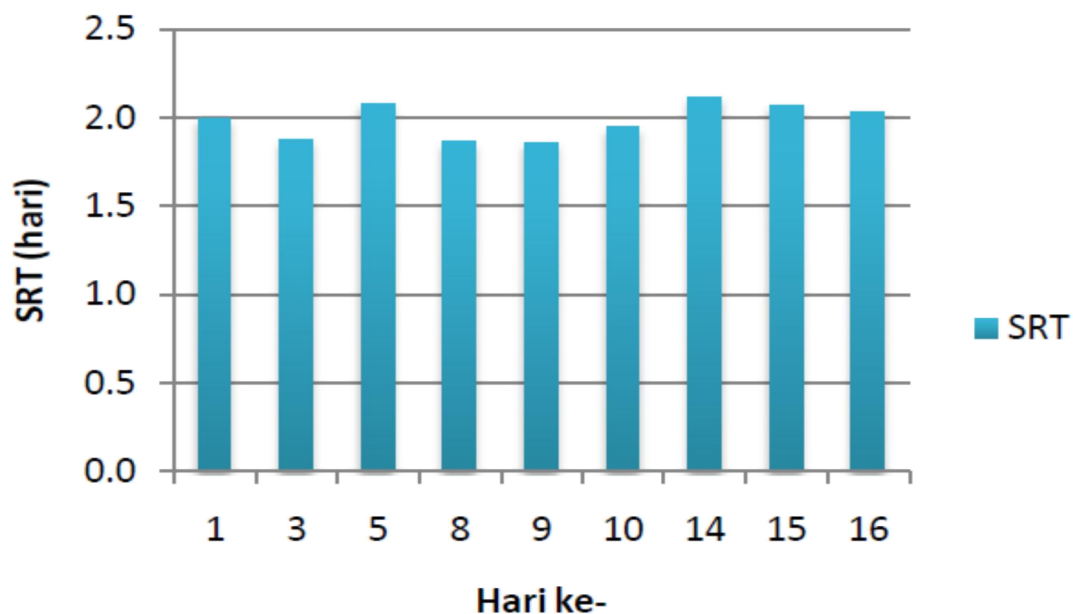
Variasi	SRT
I	1,76
II	1,98
III	1,97

Dari tabel 4 di atas, terlihat bahwa variasi kedua mempunyai *sludge retention time* yang paling tinggi dibandingkan dengan kedua variasi lainnya. Seperti yang telah disebutkan sebelumnya, hal ini dikarenakan saat bioreaktor membran dijalankan dengan variasi kedua VSS yang dikeluarkan dari sistem cenderung sedikit dan VSS yang terdapat di bioreaktor cenderung mencukupi untuk mempertahankan SRT pengolahan tersebut. Bila ketiga variasi dibandingkan, tampak bahwa variasi kedua lebih mampu menciptakan kondisi operasional yang dapat mempertahankan SRT pengolahan mendekati dua hari. Hal ini dapat diartikan bahwa kondisi operasional bioreaktor membran yang paling baik dalam mendukung perkembangan biomassa dan juga paling baik dalam menjaga kinerja membran adalah saat variasi kedua dijalankan.

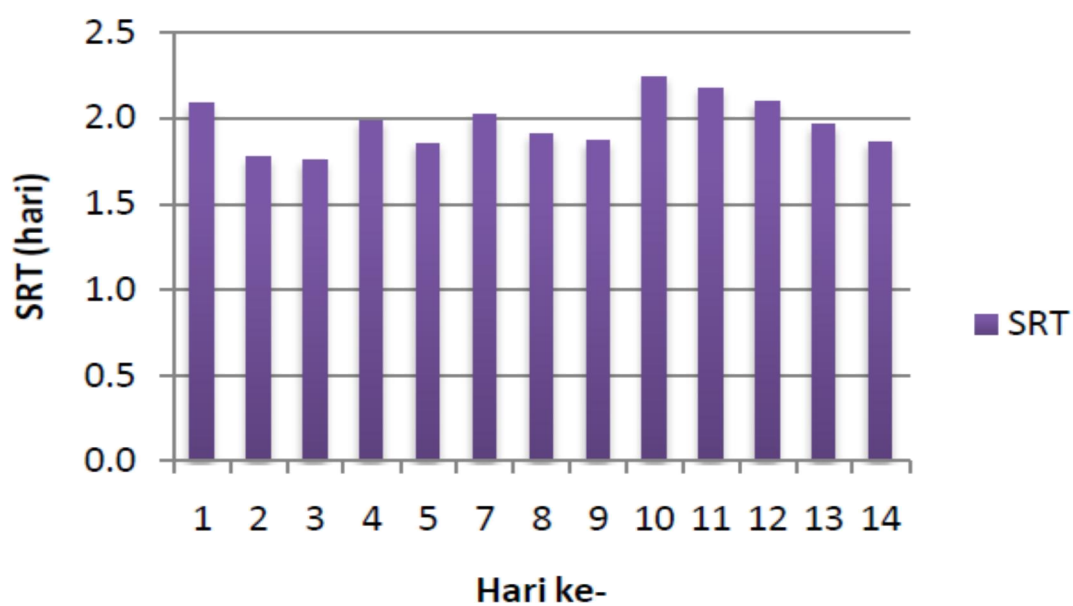
Selain itu, kondisi operasional, yang disebabkan perbedaan waktu filtrasi dan *backwash*, juga akan mempengaruhi stabilitas atau kestabilan biomassa, yang pada akhirnya mempengaruhi kestabilan SRT. Kestabilan biomassa dan SRT ini dipantau secara berkala untuk tiap variasi yang dilakukan. Karena kondisi operasional yang diciptakan berbeda, maka tiap variasi ini mempunyai perbedaan kestabilan SRT yang cukup signifikan satu dengan yang lainnya. Gambar 3 berikut ini akan memperlihatkan pemantauan SRT dari bioreaktor membran yang sedang bekerja untuk tiap variasinya.



(a)



(b)



(c)

Gambar 3. SRT yang dipantau dari tiap variasi (a) variasi I (b) variasi II (c) variasi III

Dari Gambar 3 di atas terlihat perbandingan fluktuasi SRT yang terjadi saat tiap variasi dijalankan. Pada saat variasi I dijalankan, SRT yang dimiliki oleh bioreaktor membran tampak sangat berfluktuasi dengan nilai SRT paling rendah 1,4 hari dan nilai SRT paling tinggi 2 hari. Fluktuasi yang relatif tinggi ini diakibatkan oleh keadaan operasional dengan variasi filtrasi

selama dua jam dan *backwash* satu menit tidak menciptakan keadaan operasional yang sesuai untuk mempertahankan jumlah biomassa agar SRT pengolahan selama dua hari.

Lain halnya dengan keadaan operasional yang terjadi saat variasi II, variasi dengan waktu filtrasi satu jam dan *backwash* satu menit. Pada variasi ini, SRT yang dimiliki oleh bioreaktor membran cenderung lebih stabil diantara ketiga variasi yang ada. Hal tersebut mengindikasikan bahwa keadaan operasional di pengolahan cukup sesuai dengan keadaan yang dibutuhkan mikroorganisme untuk hidup sehingga menunjang kestabilan SRT yang ada. Sementara pada variasi III, fluktuasi nilai SRT yang dipantau cenderung lebih stabil dari variasi I tetapi cenderung lebih tidak stabil dibandingkan variasi II.

Menurut Judd (2006), jumlah biomassa dari suatu bioreaktor membran tergantung pada keadaan lingkungan di pengolahan tersebut, dimana pertumbuhan biomassa akan mencapai kondisi yang optimum saat keadaan lingkungannya memadai. Dari fluktuasi nilai SRT yang terdapat di tiap variasi yang dijalankan, tampak bahwa keadaan operasional yang berbeda akan memberikan dampak pada perbedaan kondisi lingkungan di bioreaktor membran tersebut. Dimana kondisi lingkungan akan mempunyai dampak pada yang cukup signifikan pada biomassa.

Selain itu, lamanya waktu filtrasi dan waktu *backwash* juga mempengaruhi keadaan membran itu sendiri. Hal ini dapat dilihat dari rata-rata VSS yang dikeluarkan oleh sistem untuk tiap variasi (Tabel 3), dimana frekuensi dan durasi *backwash* mempengaruhi derajat selektivitas membran sehingga ada perbedaan yang cukup signifikan pada jumlah VSS yang keluar di permeat. Keluarnya VSS di permeat tentu saja berpengaruh pada jumlah biomassa yang berada di sistem pengolahan, yang juga memberikan pengaruh pada SRT pengolahan.

Jumlah VSS di dalam pengolahan, jumlah VSS yang keluar dari pengolahan, dan lamanya SRT serta stabilitas SRT yang berbeda tiap variasinya berujung pada jumlah biomassa yang berbeda pula. Peningkatan jumlah biomassa terjadi saat SRT pengolahan paling tinggi yaitu saat variasi kedua dioperasikan pada bioreaktor membran. Dari penelitian ini dapat dilihat bahwa frekuensi dan durasi *backwash* pada sebuah bioreaktor membran mempengaruhi jumlah biomassa yang terdapat didalamnya sehingga memungkinkan terjadinya peningkatan biomassa.

4. KESIMPULAN

Pada pengolahan menggunakan bioreaktor membran, *backwash* dibutuhkan untuk mengatasi *fouling* yang terjadi. Frekuensi seringnya dan durasi lamanya *backwash* dapat dijalankan bervariasi sesuai dengan kebutuhan, dimana hal ini ternyata memberikan pengaruh pada kondisi biomassa yang ada di pengolahan. Kondisi operasional yang berbeda dengan perbedaan waktu filtrasi dan *backwash* membuat kondisi lingkungan yang terdapat di bioreaktor membran berbeda pula. Hal inilah yang mempengaruhi jumlah dan stabilitas biomassa yang ada, dilihat dari perbedaan yang cukup signifikan dalam jumlah VSS dan kestabilan SRT pada tiap variasi. Selain itu, keadaan membran juga terpengaruh oleh variasi yang dilakukan. Kondisi tersebut terlihat dari perbedaan jumlah VSS yang keluar dari permeat untuk tiap variasinya, yang mengindikasikan adanya pengaruh dari variasi yang dilakukan terhadap kinerja dari membran yang bersangkutan. Maka dapat disimpulkan bahwa frekuensi dan durasi *backwash* memberikan pengaruh terhadap jumlah biomassa di dalam bioreaktor membran yang memungkinkan terjadinya peningkatan biomassa tersebut.

DAFTAR PUSTAKA

- Choi H., Zhang Kai, Dionysiou Dionysios D., Oerther Daniel B., Sorial George A.** 2005. *Effect of permeate flux and tangential flow on membrane fouling for wastewater treatment. Separation and Purification Technology*, 45, 68–78.
- Georgiou D., Metallinou C., Aivasidis A., Voudrias E., Gimouhopoulos K.** 2004. *Decolorization of azo-reactive dyes and cotton-textile wastewater using anaerobic digestion and acetate-consuming bacteria. Biochemical Engineering Journal*, 19, 75-79
- Hong S.P., Bae T.H., Tak T.M., Hong S., Randall A.** 2002. *Fouling control in activated sludge submerged hollow fiber membrane bioreactors. Desalination*, 143, 219-228.
- Judd, Simon.** 2006. *The MBR Book-Principles and Applications of Membrane Bioreactors in Water and Wastewater Treatment*. Elsevier Ltd, New York.
- Metcalf, Eddy.** 2003. *Wastewater Engineering – Treatment and Reuse* (3rd edition). McGraw-Hill, New York.
- Schoeberl Paul, Brik Mounir, Bertoni Marina, Braun Rudolf, Fuchs Werner.** 2005. *Optimization of operational parameters for a submerged membrane bioreactor treating dyehouse wastewater. Separation and Purification Technology*, 44, 61-68.
- Zhang J., Padmasiri S.I., Fitch M., Norddahl B., Raskin L., Morgenroth E.** 2006. *Influence of cleaning frequency and membrane history*