

PENURUNAN WARNA REAKTIF DENGAN PENGOLAHAN KOMBINASI KOAGULAN PAC (*POLY ALUMINIUM CHLORIDE*) DAN MEMBRAN MIKROFILTRASI

REMOVAL OF REACTIVE DYE USING COMBINED PROCESSES OF PAC COAGULANT (*POLY ALUMINIUM CHLORIDE*) AND MICROFILTRATION MEMBRANE

Vina Citrasari¹⁾ dan Bowo Djoko Marsono¹⁾

¹⁾Jurusan Teknik Lingkungan FTSP-ITS Surabaya

email: bowodjok@yahoo.com

Abstrak

Penelitian ini menggunakan kombinasi proses filtrasi membran dengan penambahan koagulan PAC (*Poly Aluminium Chloride*) 1% untuk menurunkan warna limbah sintesis reaktif *Remazol Turquoise Blue G*. Variasi yang dilakukan yaitu pada proses filtrasi membran tanpa pengolahan pendahuluan, filtrasi membran dengan pengolahan pendahuluan flash mix dan filtrasi membran dengan pengolahan pendahuluan *flash mix*, *slow mix*, dan sedimentasi. Tekanan yang digunakan adalah 0,25 kg/cm², 0,50 kg/cm², 0,75 kg/cm², 1,00 kg/cm². Reaktor membran yang digunakan yaitu jenis *dead-end* selama 5 jam dengan waktu pengambilan permeate setiap 15 menit. Parameter yang diukur yaitu efisiensi penurunan warna dan fluks membran. Fluks terbaik sebesar 2063,17 L/m².jam untuk proses I, 596,91 L/m².jam untuk proses II, dan 1564,02 L/m².jam untuk proses III. Efisiensi penurunan warna terbaik dicapai pada tekanan operasi 0,5 kg/cm² pada semua proses yaitu berturut-turut 27,79%, 99,84%, dan 98,48%.

Kata kunci : *dead-end*, koagulan, membran mikrofiltrasi, warna reaktif

Abstract

This research performed a combined process using membrane filtration and addition of 1 % PAC (*Poly Aluminium Chloride*) coagulant to reduce color of synthetic *Remazol Turquoise Blue G* Reactive dye. The process variation conducted in this research were membrane filtration without pretreatment, membrane filtration using flash mix, slow mix and sedimentation as pretreatment. Variation operating pressure was 0,25 kg/cm², 0,50 kg/cm², 0,75 kg/cm², 1,00 kg/cm². Dead-end membrane reactor was utilized and run for 5 hours with sampling period every 15 minutes. Measured parameters were the efficiency of color removal and membrane flux. The best flux obtained was 2063,17 L/m²/hour for process I. Other results were 596,91 L/m²/hour for process II, and 1564,02 L/m²/hour for process III. The best efficiency of color removal was reached at 0,50 kg/cm² of operating pressure for all process which mentioned as follow in rows 27,79 % , 99,84 % and 98,48 %.

Keywords : coagulant, dead-end, microfiltration membrane, reactive dye

1. PENDAHULUAN

Salah satu teknologi pengolahan air baku dan air buangan pada saat ini adalah proses filtrasi dengan membran. Teknologi membran mempunyai peranan penting dalam mengatasi kelangkaan sumber daya air saat ini. Teknologi ini digunakan mengolah limbah sebelum dibuang ke badan air, untuk *material recovery* sebelum limbah memasuki pengolahan dan juga untuk mengolah air minum.

Membran adalah lapisan tipis (*film*) yang memisahkan dua fasa yang bersifat semi permeabel dan

bertindak sebagai penghalang selektif pada transfer zat, atau materi (Mulder, 1996). Definisi lain dari membran adalah lapisan tipis dari suatu bahan yang mampu memisahkan materi atau zat karena sifat fisik dan kimianya apabila diberikan gaya pendorong melewati membran (Mallevalle, 1996).

Parameter utama dalam operasi membran adalah permeabilitas dan permselektivitas (Mulder, 1996). Permeabilitas merupakan ukuran kecepatan suatu spesi menembus membran. Permeabilitas ini sangat dipengaruhi oleh jumlah pori, ukuran pori dan tekanan yang dioperasikan. Dalam pengukuran,

permeabilitas dinyatakan dalam fluks, yaitu jumlah volume permeate yang melewati satu satuan luas membran dalam waktu tertentu. Secara sistematis fluks dirumuskan seperti Persamaan 1.

$$J_v = \frac{V}{A \times t} \quad (1)$$

Dimana :

- J_v = fluks (L/m².jam)
 V = volume permeate (Liter)
 A = luas permukaan membran (m²)
 t = waktu penyaringan (jam)

Permeabilitas sangat dipengaruhi oleh *driving force*-nya. Pada membran mikrofiltrasi digunakan tekanan sebagai *driving force*. Pada banyak kasus kecepatan permeate melewati membran sebanding dengan *driving force*. Hukum Darcy merumuskannya sebagai Persamaan 2.

$$J_v = -L_p \times \frac{dp}{dx} \quad (2)$$

Dimana :

- J_v = volume fluks
 L_p = koefisien permeabilitas
 dp/dx = *driving force* yaitu tekanan udara

Permselektivitas merupakan kemampuan suatu membran menahan suatu spesi atau melewatkan spesi tertentu, tergantung pada interaksi *interface* membran dengan spesi serta ukuran spesi dan ukuran pori. Parameter yang dipergunakan adalah efisiensi penurunan partikel, yaitu fraksi konsentrasi zat terlarut yang tidak menembus membran dan dirumuskan pada Persamaan 3.

$$R = \frac{C_0 - C_1}{C_0} \quad (3)$$

Dimana:

- R = efisiensi penurunan partikel
 C_0 = konsentrasi sebelum melewati membran
 C_1 = konsentrasi setelah melewati membran

Membran dapat digolongkan berdasarkan tenaga pendorong (*driving force*), materi penyusun membran, morfologi membran, serta kerapatan porinya. Pemisahan dengan menggunakan tekanan operasi sangat penting karena berpengaruh pada fluks membran dan efisiensi penurunan membran. Fluks akan meningkat dengan kenaikan tekanan pada membran sedangkan efisiensi penurunan membran akan menurun (Mulder, 1996).

Permeate fluks diperkirakan akan naik seiring dengan turunnya viskositas dari air. Sehingga untuk berbagai alasan, permeate dapat dibuat dengan

temperatur yang lebih tinggi. Pengaturan pH perlu dilakukan terutama untuk membran yang peka terhadap pH yang ekstrim, contohnya membran yang terbuat dari selulosa, membran ini mempunyai range pH 5-8 (Mallevalle, 1996). Penyumbatan pada membran merupakan kelemahan dari penggunaan proses membran sehingga periode operasi yang panjang akan menurunkan kinerja membran yang tergambar pada penurunan fluks dari membran (Taylor dkk, 1987 dalam Nasrul, 2002)

2. METODOLOGI

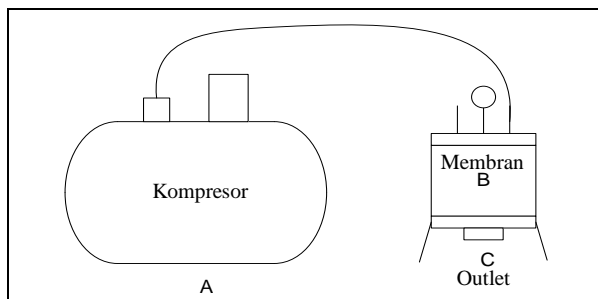
Bahan yang dipergunakan dalam percobaan ini adalah bubuk warna sintetis *Remazol Turquoise Blue G*, koagulan PAC ($Al_{10}(OH)_{15}Cl_{15}$), dan aquadest. Limbah sintetis warna disiapkan dengan melarutkan bahan pewarna tekstil reaktif dalam air aquadest. Bahan pewarna tekstil reaktif yang digunakan adalah *Remazol Turquoise Blue G*. Persiapan limbah warna sintetis dilakukan dengan melarutkan 0,3 g bubuk warna reaktif *Remazol Turquoise Blue G* dengan 1 L air aquadest.

Dalam penelitian ini digunakan reaktor membran dengan sistem operasi *dead-end* yang bentuknya sesuai dengan jenis membran yang digunakan yaitu *flat-sheet*. Reaktor tersebut terbuat dari bahan *stainless steel* yang kuat untuk tekanan operasi 2 kg/cm² dan mungkin lebih serta tahan terhadap pH umpan yang rendah yaitu mencapai 3. Spesifikasi reaktor membran mikrofiltrasi yang dipergunakan adalah tinggi reaktor 15 cm, diameter 14 cm, volume reaktor 2307,9 cm³ (2,3 L) dan diameter tempat membran 3,5 cm

Membran mikrofiltrasi yang dipergunakan dalam penelitian adalah jenis *flat-sheet* dengan merk dagang *Millipore*. Digunakannya membran jenis *flat-sheet* adalah karena jenis membran ini banyak terdapat di pasaran dan mudah dalam sistem pengoperasian dan pembersihannya (Aptel, 1996).

Pada pengolahan pendahuluan dengan *flash mix*, limbah sintetis warna ditambah dengan larutan PAC 1% sesuai dengan dosis optimum berdasarkan percobaan pendahuluan. Setelah penambahan koagulan PAC 1% kemudian dilakukan pengadukan cepat (*flash mix*) dengan kecepatan 90 rpm selama 1 menit. Pengolahan pendahuluan dengan *flash mix* dan *Slow mix* dilakukan dengan limbah sintetis warna ditambah dengan larutan PAC 1% sesuai dengan dosis optimum pada percobaan pendahuluan.

Selanjutnya dilakukan pengadukan cepat (*flash mix*) dengan kecepatan putaran 90 rpm selama 1 menit. Pengadukan cepat kemudian dilanjutkan dengan pengadukan lambat (*slow mix*) dengan kecepatan putaran 25 rpm selama 9 menit. Setelah pengadukan dan terbentuk presipitan kemudian diendapkan dengan waktu pengendapan selama 10 menit dengan tujuan agar presipitan warna yang terbentuk mengendap untuk mengurangi *fouling* pada membran. Setelah pengendapan selama 10 menit selanjutnya diambil air supernatannya dan dilakukan analisa penurunan warna. Selanjutnya dari proses-proses yang telah dilakukan diatas, sampel limbah warna sintetis dimasukkan ke dalam reaktor mikrofiltrasi yang telah dihubungkan dengan kompresor seperti pada Gambar 1.



Gambar 1. Rangkaian Reaktor Mikrofiltrasi dan Kompresor

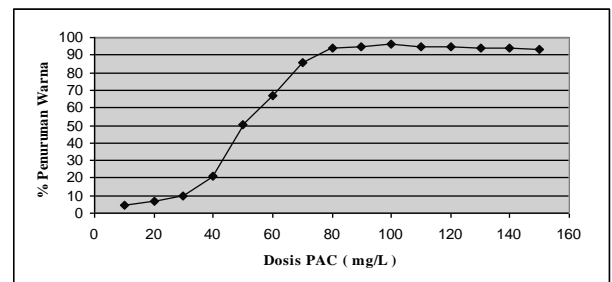
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Zat warna tekstil mengandung senyawa organik rantai panjang dan rantai siklik yang sifatnya sulit dihilangkan secara alamiah baik dengan proses fisik maupun biologi. Senyawa organik pada pewarna tekstil tersebut apabila dilewatkan membran mikrofiltrasi akan lolos melewati pori-pori membran mikrofiltrasi. Lolosnya senyawa organik tersebut dikarenakan ukuran pori membran mikrofiltrasi yang lebih besar daripada ukuran senyawa organik pada pewarna tekstil sehingga pengolahan menggunakan membran mikrofiltrasi tanpa adanya pengolahan tidak akan berlangsung dengan efektif.

Hal ini terbukti pada penelitian yang telah dilakukan yaitu dengan penyaringan terhadap senyawa organik tanpa pengolahan pendahuluan. Dalam penelitian ini diketahui bahwa penyaringan senyawa organik langsung dengan membran hanya akan memberikan efisiensi penurunan konsentrasi warna sebesar 27,79% pada tekanan operasi sebesar 0,5 kg/cm². Oleh karena itu untuk memperoleh hasil yang lebih optimal, maka dilakukan pengolahan pendahuluan dengan proses koagulasi dan flokulasi

dengan menggunakan koagulan PAC 1% (10 g/L). Koagulan PAC dipilih karena lebih baik dari koagulan jenis Alum ($Al_2(SO_4)_3$) maupun ferri klorida ($FeCl_3$).

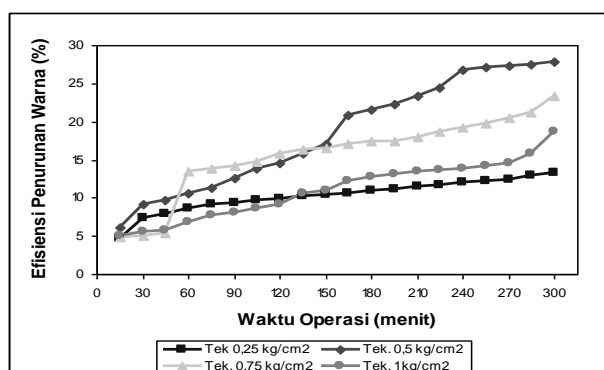
Polyhidroksida dengan molekul rantai panjang dan muatan listrik yang lebih besar, dibandingkan dengan koagulan jenis Alum, memaksimalkan proses flokulasi (Malhotra, 1994). Flok yang terbentuk mempunyai diameter yang lebih besar dan lebih cepat mengendap dibandingkan dengan koagulan Alum. Selain itu koagulan PAC dapat bekerja pada range pH yang luas. Dalam penentuan dosis optimum PAC, dilakukan variasi penambahan PAC kedalam sampel air dengan dosis 10 mg/L, 20 mg/L, 30 mg/L, 40 mg/L, 50 mg/L, 60 mg/L, 70 mg/L, 80 mg/L, 90 mg/L, 100 mg/L, 110 mg/L, 120 mg/L, 130 mg/L, 140 mg/L, 150 mg/L. Karakteristik awal air sampel yang digunakan adalah sama, yaitu air dengan karakteristik konsentrasi warna limbah sintetis 300 mg/L, pH 7,48, suhu 27°C. Hasil pengukuran menunjukkan bahwa tiap penambahan dosis PAC menghasilkan persentase removal warna yang berbeda seperti pada Gambar 2.



Gambar 2. Dosis Optimum PAC

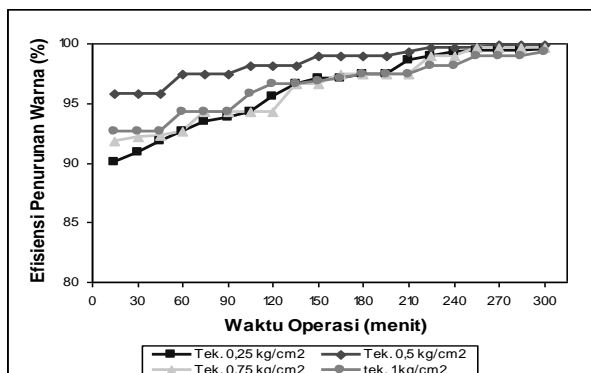
Dari Gambar 2 di atas, dapat diketahui bahwa penurunan konsentrasi warna sampel air bertambah mulai dari 4,43% untuk penambahan PAC 10 mg/L dan terus bertambah menjadi 96,51% untuk penambahan PAC 100 mg/L. Dari data tersebut dapat dilihat bahwa penambahan PAC 100 mg/L adalah penambahan PAC yang dapat menghasilkan efisiensi penurunan warna tertinggi. Sedangkan penambahan PAC di atas 100 mg/L, yaitu 110 mg/L, 120 mg/L, 130 mg/L, 140 mg/L, 150 mg/L akan menurunkan efisiensi penurunan konsentrasi warna. Hal ini dikarenakan PAC yang ditambahkan terlalu banyak, sehingga PAC yang berlebih tersebut tidak terikat oleh partikel koloid dalam air sehingga akan menambah suspensi di dalam air. Dengan demikian dosis PAC optimum yang harus ditambahkan dalam proses jar test adalah 100 mg/L.

Pada penelitian ini digunakan variasi tekanan operasi $0,25 \text{ kg/cm}^2$, $0,5 \text{ kg/cm}^2$, $0,75 \text{ kg/cm}^2$, $1,00 \text{ kg/cm}^2$. Dari Gambar 3 terlihat bahwa adanya kenaikan tekanan operasi yang diberikan akan mempengaruhi efisiensi penurunan warna. Pengaruh tekanan tersebut terlihat jelas pada menit ke 30 sampai menit ke 60 pada tekanan $0,75 \text{ kg/cm}^2$. Meningkatnya tekanan operasi akan menurunkan efisiensi penurunan warna pada batasan nilai tekanan tertentu. karena penekanan pada pori membran akan meningkat seiring dengan bertambah besarnya tekanan. Hal ini akan menyebabkan diameter pori membran menjadi semakin lebar. Diameter pori yang membesar akan menyebabkan lolosnya senyawa organik penyusun warna pada zat warna tekstil.



Gambar 3. Hubungan Antara Waktu Operasi dan Efisiensi Penurunan Warna pada Berbagai Tekanan Operasi (Proses Filtrasi Membran tanpa Pengolahan Pendahuluan)

Pada Gambar 3 tersebut terlihat bahwa penurunan warna dengan penyaringan menggunakan membran mikrofiltrasi tanpa pengolahan pendahuluan hanya memberikan efisiensi sebesar 27,79% sehingga dapat disimpulkan bahwa penurunan konsentrasi warna dengan proses membran saja kurang memberikan hasil seperti yang diharapkan. Hal ini dapat disebabkan karena ukuran dari partikel senyawa organik zat warna tersebut lebih kecil dari ukuran pori membran sehingga banyak dari partikel tersebut yang lolos selama proses penyaringan. Peningkatan efisiensi penurunan warna berbanding lurus dengan bertambahnya waktu operasi yang berarti semakin lama waktu operasi maka semakin besar efisiensi penurunan yang diperoleh. Sedangkan untuk penurunan warna dengan menggunakan *flash mix* sebagai pengolahan pendahuluan dapat dilihat pada Gambar 4 berikut ini.

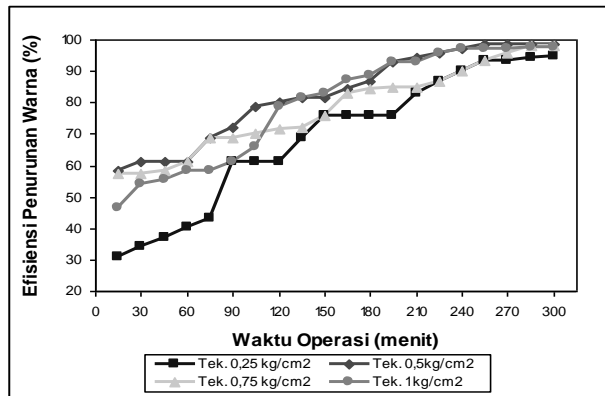


Gambar 4. Hubungan Antara Waktu Operasi dan Efisiensi Penurunan Warna pada Berbagai Tekanan Operasi (Proses Filtrasi Membran Dengan *Flash mix* Sebagai Pengolahan Pendahuluan)

Dari Gambar 4 terlihat adanya penurunan warna yang sangat signifikan yaitu 98–99%. Hal ini disebabkan karena pengolahan kombinasi yaitu dengan penambahan koagulan PAC dan pengadukan cepat yang diteruskan dengan penyaringan menggunakan membran mikrofiltrasi. Koagulasi merupakan proses yang berhubungan dengan interaksi partikel dan agen pendestabilisasi (*destabilizing agent*). Adanya ketidakstabilan partikel karena penambahan koagulan akan menyebabkan bersatunya partikel-partikel yang tidak stabil tersebut membentuk partikel yang lebih besar ukurannya dan lebih berat sehingga dapat mengendap.

Seperti pada proses sebelumnya, pada Gambar 4 terlihat bahwa semakin besar tekanan operasi yang diberikan akan menyebabkan menurunnya efisiensi penurunan warna pada tekanan $0,25 \text{ kg/cm}^2$ dan $0,5 \text{ kg/cm}^2$, dan akan menurun pada tekanan $0,75 \text{ kg/cm}^2$ dan $1,00 \text{ kg/cm}^2$. Pada waktu operasi pada menit awal sampai menit akhir operasi yaitu menit ke-15 sampai menit ke 300 efisiensi penurunan warna telah mencapai rata-rata diatas 90%. Hal ini dikarenakan partikel flokulan yang terbentuk telah banyak yang menutup pori membran sehingga kenaikan tekanan tidak banyak berpengaruh pada efisiensi penurunan warna.

Pada Gambar 5 pengaruh dari variasi tekanan operasi dan bertambahnya waktu operasi akan semakin jelas terlihat dengan semakin naiknya efisiensi penurunan warna yaitu mulai dari 31,09% - 98,48%. Hal ini berkaitan dengan adanya proses pengendapan pada pengolahan pendahuluan sebelum dilakukan penyaringan dengan membran mikrofiltrasi.

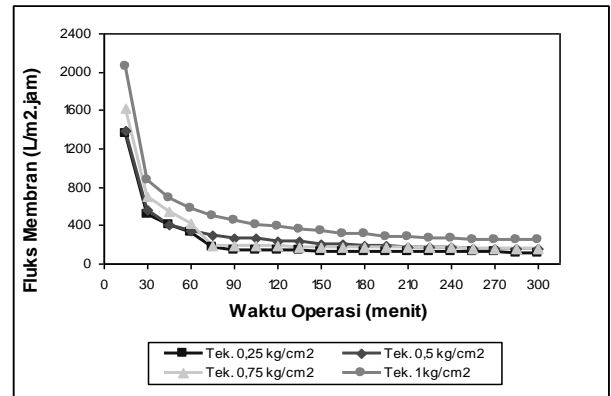


Gambar 5. Hubungan Waktu Operasi dan Efisiensi Penurunan Warna pada Berbagai Tekanan Operasi (Proses Filtrasi Membran dengan *Flash mix*, *Slow mix* dan Sedimentasi Sebagai Pengolahan Pendahuluan)

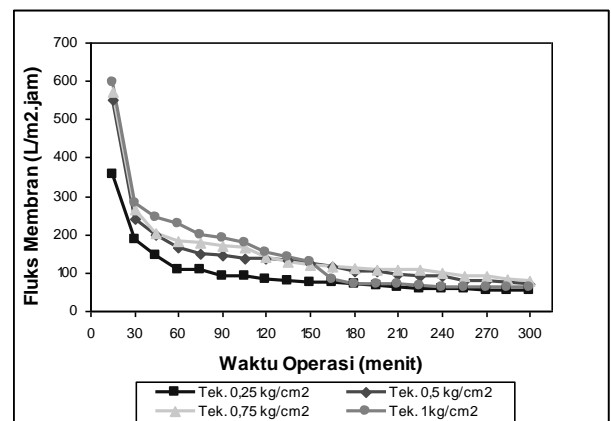
Nilai efisiensi penurunan warna terbaik yang didapatkan dengan variasi tekanan 0,25–1,00 kg/cm² adalah 27,79% untuk proses tanpa pengolahan pendahuluan, 99,84% untuk proses dengan pengolahan pendahuluan pengadukan cepat, dan 98,48% untuk proses dengan pengolahan pendahuluan pengadukan cepat dan lambat yang dilanjutkan dengan proses pengendapan. Ketiga nilai efisiensi penurunan warna terbaik tersebut terjadi pada tekanan operasi 0,5 kg/cm², dimana pada tekanan ini pori membran tidak terlalu terpengaruh oleh tekanan operasi dan juga lamanya waktu operasi membran.

Berdasarkan teori yang ada besarnya nilai fluks membran sangat dipengaruhi oleh besarnya tekanan operasi yang diberikan. Dimana semakin besar tekanan operasi yang diberikan maka semakin besar pula fluks yang dihasilkan. Hasil perhitungan dari nilai fluks membran disajikan pada grafik hubungan antara nilai fluks dan tekanan operasi.

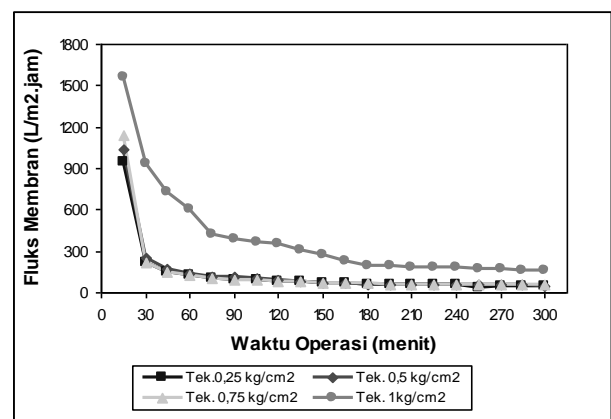
Berdasarkan Gambar 6, untuk peningkatan tekanan operasi pada penyaringan dengan membran mikrofiltrasi akan dihasilkan nilai fluks permeate yang semakin besar pula. Hal ini berlaku pada semua proses penyaringan baik yang melalui pengolahan pendahuluan maupun tidak. Hal ini disebabkan karena berubahnya struktur pori membran yang menjadi semakin besar karena adanya penekanan sehingga menyebabkan semakin banyaknya air yang dapat melewati pori membran.



Gambar 6. Grafik Hubungan Antara Fluks dan Waktu Operasi pada Berbagai Tekanan Operasi (Proses Filtrasi Membran Tanpa Pengolahan Pendahuluan)



Gambar 7. Grafik Hubungan Antara Fluks dan Tekanan Operasi (Proses Filtrasi Membran dengan Pengolahan Pendahuluan *Flash Mix*)



Gambar 8. Grafik Hubungan Antara Fluks dan Tekanan Operasi (Proses Filtrasi Membran dengan Pengolahan Pendahuluan *Flash Mix*, *Slow Mix* dan Sedimentasi)

Nilai fluks pada awal operasi tinggi dan semakin menurun seiring dengan semakin lamanya waktu operasi. Semakin lama waktu operasi maka semakin banyak *cake layer* yang terbentuk pada permukaan membran dan menjadikannya sebagai penghalang yang menghambat air umpan untuk melewati membran, sehingga fluks terus menurun dari waktu ke waktu. Fluks yang dihasilkan pada tekanan 1,00 kg/cm² hampir sama dengan tekanan 0,25 kg/cm², hal ini dapat dikaitkan dengan adanya polarisasi konsentrasi partikel pada permukaan membran.

Nilai fluks terbaik didapatkan pada tekanan operasi sebesar 1,00 kg/cm² pada penyaringan tanpa disertai pengolahan pendahuluan yaitu sebesar 2063,17 (L/m².jam). Sedangkan nilai fluks proses pengolahan pendahuluan dengan pengadukan cepat, proses pengolahan pendahuluan dengan pengadukan cepat dan lambat serta pengendapan berturut-turut adalah 596,91 (L/m².jam), 1564,02 (L/m².jam) pada tekanan 1 kg/cm². Pada awal proses penyaringan yaitu pada 15 menit pertama nilai fluks yang dihasilkan besar karena pada saat itu pori membran masih dalam keadaan cukup bersih sehingga memudahkan air umpan untuk dapat melewatinya.

Waktu terjadinya *fouling* pada membran merupakan salah satu hal yang dapat digunakan untuk mengetahui kinerja dari membran mikrofiltrasi selain fluks permeate dan efisiensi penurunan warna yang dihasilkan pada proses filtrasi. Dari hasil analisa laboratorium dan perhitungan sebelumnya telah diketahui bahwa adanya kenaikan tekanan operasi pada filtrasi dengan membran mikrofiltrasi akan menaikkan fluks permeate sebaliknya efisiensi penurunan warna akan semakin kecil. Waktu terjadinya *fouling* pada membran didapatkan dengan memotongkan grafik nilai efisiensi penurunan warna dan fluks permeate yang dihasilkan untuk tiap-tiap tekanan operasi. Titik perpotongan antara nilai fluks permeate dan efisiensi penurunan warna selanjutnya ditarik garis kebawah untuk mendapatkan waktu detensi dari membran.

Waktu terjadinya *fouling* pada membran untuk proses I yang paling lambat didapatkan pada tekanan 0,75 kg/cm² yaitu mulai pada waktu operasi selama 48 menit. Untuk proses II diperoleh waktu terjadinya *fouling* membran paling lambat pada tekanan 1,00 kg/cm² yaitu mulai pada waktu operasi selama 78 menit. Sedangkan untuk proses III diperoleh waktu terjadinya *fouling* membran yang paling

lambat pada tekanan 1,00 kg/cm² yaitu pada waktu operasi selama 71 menit.

4. KESIMPULAN

Pada proses pengolahan pendahuluan dengan *flash mix* saja dengan penambahan koagulan sebesar 100 mg/L didapatkan efisiensi penurunan warna sebesar 67,52% sedangkan pada pengolahan pendahuluan dengan *flash mix*, *slow mix*, dan sedimentasi diperoleh efisiensi penurunan warna sebesar 96,07%. Peningkatan tekanan operasi yang menghasilkan efisiensi penurunan warna terbaik adalah pada tekanan maksimum 0,50 kg/cm² menggunakan rangkaian proses *flash mix* filtrasi membran dengan nilai berkisar 90,05% - 99,84%. Semakin lama waktu operasi akan meningkatkan efisiensi penurunan warna namun diikuti dengan penurunan fluks permeate akibat terjadinya *fouling*. Variabel rangkaian proses berpengaruh pada kecepatan waktu terjadinya *fouling*. Untuk proses I *fouling* terjadi pada tekanan 0,75 kg/cm² dan waktu operasi selama 48 menit. Untuk proses II *fouling* terjadi pada tekanan 1,00 kg/cm² dan waktu operasi selama 78 menit. Untuk proses III *fouling* terjadi pada tekanan 1,00 kg/cm² dan waktu operasi selama 71 menit.

DAFTAR PUSTAKA

- Aptel, P. dan Buckley, C.A. (1996). **Categories Of Membran Operation**. McGraw-Hill. New York.
- Malhotra, S. (1994). **Poly Aluminium Chloride As An Alternative Coagulant**. 20th WEDC Conference. Colombo.
- Mallevalle, J. (1996). **Water Treatment Membrane Processes**. Mc Graw-Hill. New York.
- Mulder, M. (1996). **Basic Principles of Membrane Technology**. Second Edition. Kluwer Academic Publishers. USA.
- Nasrul. (2002). **Uji Kemampuan Cellulosa Acetate sebagai Media Filter Terhadap Penyisihan Kekeruhan dan Bakteri Escherichia Coli Pada Pemurnian Air**. Laporan Thesis S2. Jurusan Teknik Lingkungan FTSP ITS. Surabaya.