

Analisa Pengaruh Kandungan Suspended Solid (SS) Air Baku Terhadap Kinerja Membran Mikrofiltrasi

Rony Riduan¹

Abstract - Membrane for the production of potable water are becoming an increasingly viable alternative to conventional treatment trains. Membranes can produce water at a quality better than supplied by current traditional process. Microfiltration membranes can effectively remove turbidity, particles and suspended solids from raw water. Fouling by organics and turbidity on membranes can severely limit their potential usage with surface water resources. Fouling results in a flux decline, increased operating pressure and cleaning frequency.

The purpose of this study is to assess the membrane performance based on flux and rejection capacity. Suspended Solid concentration clearly effects the flux decline but not significantly effects rejection capacity. Other parameters like operating pressure and acidity effect the optimum condition of membrane operation.

Keywords - microfltration membrane, suspended solid, flux, rejection

PENDAHULUAN

Latar Belakang

Kriteria penilaian untuk mutu air didasarkan pada uji fisika, kimia, pencemaran logam, dan bakteri. Air yang baik untuk diminum juga tidak boleh mengandung lebih dari 300 ppm bahan terlarut, sehingga bahan padatan terlarut seperti silika hidrat, alumina besi, natrium, kalsium, dan sulfat perlu diperhatikan kadarnya.

Teknologi yang sering diaplikasikan untuk mengatasi permasalahan di atas adalah dengan menggunakan proses koagulasi. Namun proses ini memiliki kelemahan yaitu harus dipenuhinya kadar alkalinitas yang mencukupi untuk menetralsir asam yang terjadi pada proses tersebut. Khusus untuk kondisi air yang memiliki kesadahan rendah, penambahan kapur dapat digunakan untuk pengaturan pH pada proses tersebut, namun juga dapat menyebabkan pelepasan mangan dari koagulan sehingga dapat menyebabkan warna kemerahan pada air. (Shorney, 1996 dan Bell *et al.*, 1996). Suatu langkah dalam pengolahan air minum yang tepat telah diperkenalkan melalui teknologi membran, khususnya jenis mikrofiltrasi.

Mikrofiltrasi merupakan proses pemisahan dengan menggunakan membran yang bersifat semi permeable sehingga terjadi pemindahan materi secara selektif akibat gaya dorong seperti tekanan. Penggunaan membran dalam proses pemisahan memiliki beberapa keunggulan yaitu dapat memisahkan spesi kimia secara spesifik, beroperasi pada suhu rendah, proses yang tidak destruktif, hemat energi dan tidak mencemari lingkungan (Jacangelo *et al.*, 1989 dan Shorney *et al.*, 1996). Teknologi ini juga dinyatakan mampu menyaring dan mereduksi berbagai zat terlarut dengan berat molekul tertentu, mikroba, dan aneka koloid dengan dipengaruhi oleh keasaman air dan tekanan operasi (Anselme *et al.*, 1993). Namun teknologi ini juga memiliki suatu permasalahan yaitu fenomena fouling atau penyumbatan pori membran akibat kandungan padatan terlarut sehingga dapat memperpendek umur membran. Penyumbatan pada membran merupakan kelemahan dari penggunaan proses membran sehingga periode operasi yang panjang akan menurunkan kinerja membran yang tergambar pada penurunan flux dari membran. (Taylor *et.al*, 1987)

¹ Staff pengajar Fakultas Teknik Unlam Banjarmasin

Berdasarkan hal diatas maka dalam penelitian ini akan diterapkan aplikasi membran mikrofiltrasi sebagai media penyaring untuk menyisihkan kandungan zat terlarut yang dinyatakan dengan tingkat kekeruhan.

Perumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang penelitian maka dapat disusun suatu rumusan masalah yaitu sejauh mana proses mikrofiltrasi dapat mereduksi zat terlarut dari air baku yang diolah berdasarkan parameter kekeruhan, dan pengaruh dari parameter keasaman air baku, kandungan padatan terlarut dan tekanan operasi terhadap efisiensi proses mikrofiltrasi yang diukur dengan parameter flux dan rejeksi membran.

Ruang Lingkup Penelitian

Penelitian ini membatasi cakupan penelitian dalam batasan sebagai berikut:

1. Percobaan dilakukan dalam skala laboratorium dengan menerapkan teknologi membran mikrofiltrasi dan mereduksi variabel-variabel diluar variabel uji yang dapat mempengaruhi proses penyaringan.
2. Material membran yang digunakan adalah Selulosa Asetat dengan asumsi bahwa bahan ini mudah didapatkan dan memiliki sifat hidrofilik yang cukup baik pengaruhnya dalam proses penyaringan kontaminan di air.
3. Parameter utama yang diukur adalah tingkat kekeruhan dengan satuan NTU, dengan variabel terukur yaitu keasaman (pH), tekanan operasi, dan kandungan suspended solid (SS).

Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui kinerja proses penyisihan kandungan kekeruhan melalui membran mikrofiltrasi dengan parameter flux dan rejeksi, kemudian juga mengetahui pengaruh parameter tekanan operasi, pH, dan konsentrasi awal padatan terlarut dari air baku terhadap kemampuan penyisihan membran mikrofiltrasi.

Kajian Teoritis

Membran adalah penghalang selektif yang terdapat diantara dua fasa, yaitu fasa yang dipisahkan (feed) dan fasa hasil pemisahan (Aptel and Buckley, 1996).

Membran ini bersifat semipermeabel artinya permeabel terhadap suatu spesi tertentu dan impermeabel terhadap spesi lainnya (Rautenbach dan Albrecht, 1981). Proses pemisahan membran terjadi karena adanya perbedaan sifat kimia antara membran dengan komponen yang akan dipisahkan serta adanya gaya dorong (driving force) yang

berupa gradien konsentrasi (ΔC), gradien tekanan (ΔP), dan gradien potensial.

Membran yang digunakan dalam penelitian ini adalah membran selulosa asetat. Selulosa asetat adalah turunan dari polimer alam selulosa. Selulosa asetat dapat didegradasi oleh mikroorganisme.

Material ini memiliki sifat hidrofilik namun tidak dapat larut dalam air dikarenakan adanya ikatan hidrogen antar gugus hidroksil yang dimilikinya. Kelebihan dari bahan ini adalah kemampuannya dalam merejeksi garam dengan tetap memberikan flux tinggi. Karakteristik lain adalah rentang penerimaan pH berkisar antara 2 sampai 11, sangat dipengaruhi oleh proses kompaksi, dan sangat biodegradable sehingga sangat menyulitkan dalam proses penyimpanan untuk waktu yang relatif lama (Cheryan, 1986)

Parameter utama yang penting dalam proses pemisahan menggunakan membran adalah sebagai berikut (Mulder, 1996):

a. Permeabilitas

Merupakan ukuran kecepatan dari suatu spesi menembus membran. Permeabilitas ini sangat dipengaruhi oleh jumlah pori, ukuran pori, dan tekanan yang dioperasikan serta ketebalan membran. Dalam pengukuran, permeabilitas dinyatakan dalam fluks yaitu jumlah volume permeat yang melewati satu satuan luas membran dalam waktu tertentu. Secara matematis fluks dirumuskan sebagai berikut :

$$J = \frac{V}{A \cdot t} \dots \dots \dots (1)$$

dimana : J = fluks (L/m².jam)
V = Volume permeat (liter)
A = Luas permukaan membran (m²)
t = Waktu (jam)

b. Selektivitas

Merupakan ukuran kemampuan suatu membran menahan suatu spesi atau melewatkan spesi tertentu, tergantung pada interaksi interface membran dengan spesi serta ukuran spesi dan ukuran pori membran. Parameter yang digunakan yaitu koefisien rejeksi yaitu fraksi konsentrasi zat terlarut yang tidak menembus membran, dan dirumuskan sebagai berikut :

$$R = 1 - \frac{C_p}{C_f} \dots \dots \dots (2)$$

dimana : R = koefisien rejeksi
C_p = konsentrasi zat terlarut permeat
C_f = konsentrasi zat terlarut feed

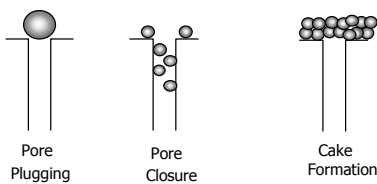
c. Konsentrasi polarisasi

Pada proses pemisahan terjadi fenomena dimana pada saat permeat melewati membran umumnya zat terlarut tidak semuanya lewat ke sisi permeat tapi akan tertahan pada permukaan membran. Zat

terlarut ini terakumulasi pada permukaan membran dan kembali ke aliran umpan dengan difusi balik. Konsentrasi zat terlarut pada permukaan membran ini jauh lebih besar dari konsentrasi zat pelarut pada permeat atau pada umpan. Fenomena ini dikenal dengan istilah polarisasi. Konsentrasi zat terlarut pada permukaan membran tersebut tergantung pada kinerja fluks rejeksi membran, koefisien dan difusi zat terlarut. Beberapa cara mengurangi polarisasi adalah dengan memodifikasi permukaan menjadi lebih hidrofilik, meningkatkan kecepatan aliran umpan (untuk cross-flow), dan membentuk aliran berputar, desain modul, dan lain-lain.

d. Fouling

Merupakan deposisi partikel pada permukaan membran (Gambar 1). Fouling ada yang bersifat reversibel dan irreversibel. Partikel yang terdeposisi pada membran antara lain adalah koloid, makromolekul, garam dan mikroorganisme. Deposisi ini menyebabkan penurunan fluks yang merupakan fungsi dari waktu, dan akan memperbesar resistensi total membran, yaitu resistensi yang disebabkan membran dan resistensi oleh lapisan gel karena deposisi.



Gambar 1. Jenis fouling pada membran

Parameter flux apabila dihubungkan dengan fouling yang terjadi pada membran dapat dijelaskan pada rumus berikut ini (Wiesner dan Aptel., 1996):

$$J_v = \frac{\Delta P}{(R_m + R_c + R_f)\mu} \dots\dots\dots(3)$$

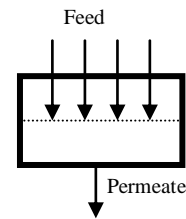
dimana :

- J_v = fluks permeate
- ΔP = tekanan pada membran
- R_m = resistensi membran
- R_c = resistensi cake
- R_f = resistensi fouling
- μ □ □ = viskositas

Beberapa cara mengurangi fouling adalah dengan melakukan pretreatment pada umpan, pencucian membran, dan modifikasi permukaan membran.

Dalam penelitian ini digunakan sistem aliran dead-end sebagaimana pada Gambar 2, merupakan sistem yang paling sederhana. Pada sistem ini larutan umpan yang melalui membran ditekan dengan tekanan tertentu sehingga zat terlarut yang berada

dalam larutan umpan akan semakin meningkat kuantitasnya, sedangkan kuantitas zat terlarut pada permeat akan menurun.



Gambar 2 Skema aliran sistem dead-end

Dalam sistem aliran dead-end, fluks yang dihasilkan relatif rendah dan harus sering dilakukan pencucian atau penggantian terhadap modul membran. Namun keuntungan dari pencucian atau penggantian yang lebih sering adalah berkurangnya pengaruh pembentukan boundary layer dan terjadinya fouling yang irreversibel.

Kinerja membran yang terukur dari fluks dan rejeksi sangat tergantung pada karakteristik membran, tekanan operasi, pH, dan periode operasinya.

Karakteristik membran

Karakteristik membran berupa material dari membran, ukuran pori yang diukur dengan MWCO dan kondisi operasi (tekanan maksimum, pH maksimum) yang bisa diterapkan. Selain itu rejeksi juga tergantung pada muatan dari kontaminan itu sendiri. Kontaminan yang bermuatan dapat direjeksi lebih baik daripada yang tidak memiliki muatan, sehingga jenis membran yang digunakan juga berpengaruh terhadap kemampuan rejeksi dari membran (Anselme dan Jacobs, 1996).

a. Tekanan operasi

Tekanan sangat berpengaruh terhadap fluks dan rejeksi membran. Duranceau *et al.* (1992) menyatakan bahwa flux akan meningkat seiring dengan kenaikan tekanan pada membran. Rejeksi dipengaruhi oleh peristiwa kompaksi dari membran akibat adanya tekanan yang mengubah struktur pori dari membran.

b. pH umpan

Rejeksi akan meningkat seiring dengan kenaikan pH dimana fluks akan berlaku berlawanan yaitu menurun seiring dengan kenaikan pH. Permukaan membran umumnya bermuatan negatif dan menyebabkan gaya tolak elektrostatis dengan ion-ion negatif dari kontaminan yang meningkat seiring dengan peningkatan pH. Sehingga pada pH tinggi akan ada gaya tolak terhadap muatan negatif dari asam-asam organik akibat muatan negatif dari permukaan (Amin dan Jayson, 1996). Selain itu pH

juga mempengaruhi sifat kelarutan dari solute yang akan dipisahkan.

c. Periode operasi

Penyumbatan pada membran merupakan kelemahan dari penggunaan proses membran sehingga periode operasi yang panjang akan menurunkan kinerja membran yang tergambar pada penurunan flux dari membran. (Taylor *et al.*, 1987)

METODE PENELITIAN

Tahapan Penelitian

Penelitian dilakukan dengan mengikuti tahapan sebagai berikut:

1. Mengukur pengaruh tekanan operasi (0.25, 0.5, 0.75, 1.00, dan 1.25 bar) terhadap efisiensi penyisihan kekeruhan (kekeruhan di ukur dalam NTU) dan flux membran.
2. Mengukur pengaruh pH air baku (2, 4, 6, 8, dan 10) terhadap efisiensi penyisihan kekeruhan dan flux membran.
3. Mengukur pengaruh konsentrasi suspended solid (20, 40, 60, 80, dan 100 mg/l) terhadap efisiensi penyisihan kekeruhan dan flux membran
4. Mengukur pengaruh periode operasi (160 menit) terhadap flux yang dihasilkan berdasarkan kombinasi kadar suspended solid (SS).

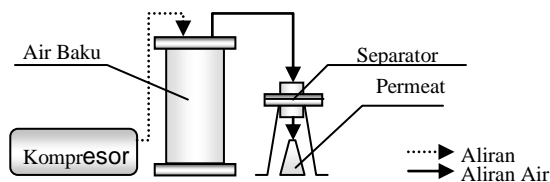
Alat dan bahan

Alat yang digunakan adalah : Separator membran dari bahan stainless steel, kompresor, pengatur tekanan, pH meter, pengukur kekeruhan, timbangan analitis, oven, desikator, dan peralatan laboratorium lainnya seperti gelas ukur, pipet, dan labu elenmeyer.

Bahan yang diperlukan adalah: Membran selulosa asetat, kaolin, dan air baku yang menjadi umpan dari membran.

Sketsa Proses

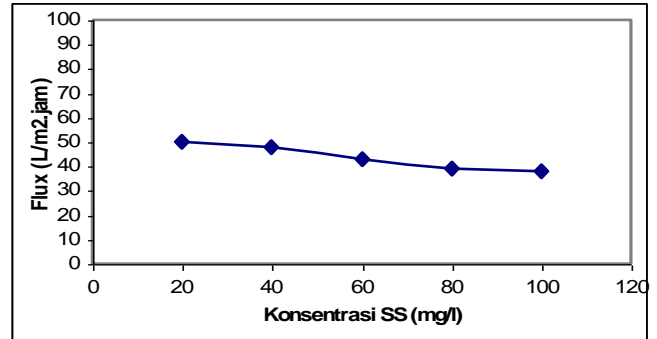
Proses separasi menggunakan susunan peralatan sebagaimana sketsa pada Gambar 3 berikut:



Gambar 3. Sketsa proses separasi

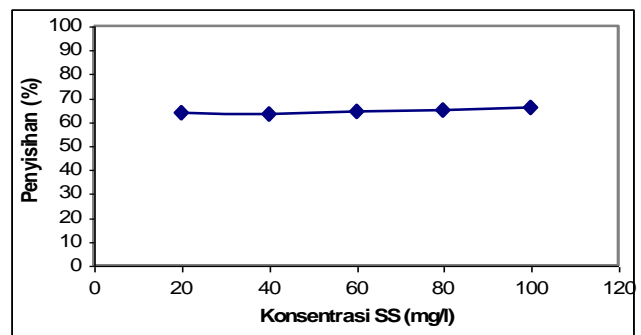
Konsentrasi SS terhadap flux dan rejeksi membran

Variasi dari konsentrasi SS memberikan dampak relatif cukup besar terhadap penurunan flux sebagaimana terlihat pada Gambar 4. Penurunan mencapai 24% terhadap flux awal untuk kenaikan konsentrasi SS dari 10 mg/l sampai dengan 100 mg/l.



Gambar 4. Hubungan konsentrasi SS dengan Flux

Hal ini memberikan gambaran bahwa fenomena fouling sangat mempengaruhi kinerja membran. Penutupan pori membran akibat kandungan SS pada air baku menyebabkan clogging sehingga menyebabkan tingginya tahanan hidrolis pada lapisan konsentrasi polarisasi membran (Wiesner, 1996). Hal sebaliknya terjadi pada parameter rejeksi (Gambar 5). Kemampuan rejeksi akan meningkat seiring dengan kenaikan konsentrasi SS, walaupun tidak signifikan sebagaimana penurunan flux akibat adanya penyumbatan pada pori membran. Proses adsorpsi kandungan kekeruhan pada permukaan membran dan pengurangan ukuran pori akibat SS menyebabkan kenaikan kemampuan rejeksi kekeruhan dari membran. Penurunan ukuran atau distribusi pori pada membran akibat tersumbat kontaminan menyebabkan penurunan flux yang besar. Gaya tahanan yang terjadi mengurangi gaya dorong (driving force) yang dimiliki membran. Namun hal ini tidak terlalu berpengaruh terhadap rejeksi. Hal tersebut dikarenakan kemampuan penyisihan membran mikrofiltrasi yang cukup memadai dalam mereduksi kontaminan kekeruhan.

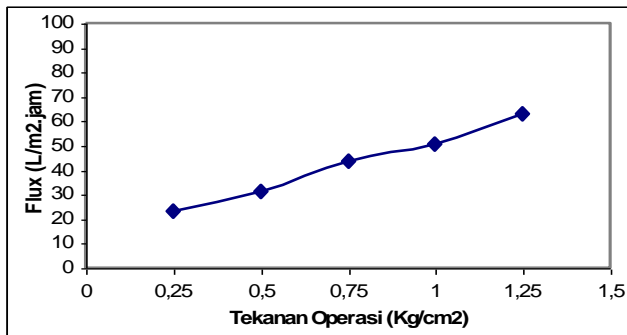


Gambar 5. Hubungan konsentrasi SS dengan rejeksi

HASIL DAN PEMBAHASAN

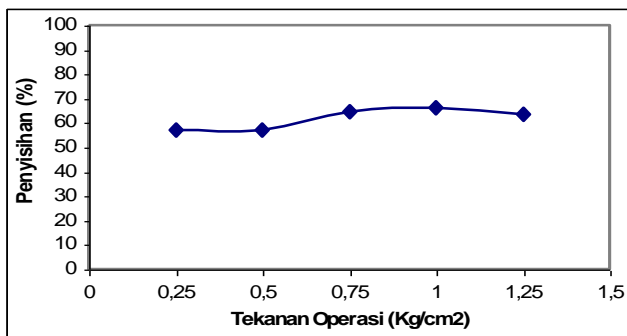
Pengaruh parameter tekanan operasi

Tekanan sebagai driving force pada membran sangat mempengaruhi kinerja dari membran. Kenaikan yang cenderung linier ini searah dengan persamaan transport massa yang menyatakan bahwa kenaikan flux akan seiring dengan kenaikan tekanan sesuai dengan koefisien transfer massa yang dimiliki membran (Gambar 6).



Gambar 6. Hubungan Tekanan Operasi dengan Flux

Hal yang berbeda terjadi pada rejeksi. Seiring dengan kenaikan tekanan, rejeksi cenderung akan mencapai maksimum pada tekanan tertentu sebagaimana terlihat pada Gambar 7. Eriksson (1988) menyatakan bahwa rejeksi akan meningkat seiring dengan kenaikan tekanan disebabkan pada tekanan tinggi permeabilitas solvent akan lebih besar daripada solute sebagaimana dijelaskan pada model Solusi-Difusi.



Gambar 7. Hubungan Tekanan Operasi dengan

Rejeksi pada kekeruhan terlihat menurun pada tekanan 1 bar. Hal ini merupakan indikasi adanya ketidaksempurnaan distribusi ukuran pori pada membran disebabkan adanya deformasi karena tekanan tinggi. Partikel penyebab kekeruhan cenderung lolos pada tekanan diatas 1 bar. Rejeksi kekeruhan mengalami fluktuasi pada tekanan 0.5 dan 0.75 bar sesuai dengan kondisi keasamannya. Hal ini dipengaruhi oleh kelarutan kontaminan pada masing-masing tingkatan pH. Semakin tinggi kelarutannya maka semakin besar kemungkinannya pada tekanan relatif lebih rendah sudah mengalami penurunan nilai rejeksi.

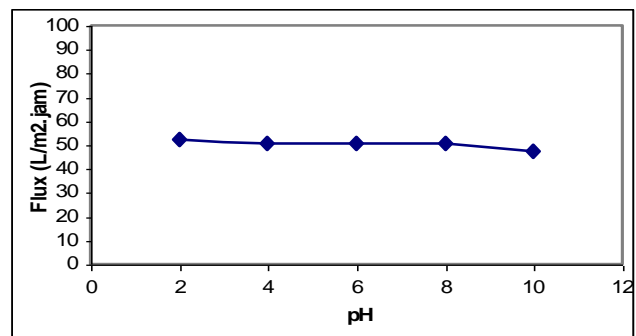
Dari hasil pengamatan dapat dinyatakan bahwa kenaikan tekanan akan menaikkan flux dan rejeksi pada batasan nilai tekanan tertentu. Hal ini dikarenakan adanya kompaksi dari membran yang menyebabkan berkurangnya ukuran efektif pori membran, dan juga karena adanya penyumbatan pori (fouling) oleh kontaminan.

Tekanan operasi dengan rentang 0,25 sampai 1,25 bar cukup memberikan gambaran pengaruh parameter ini terhadap kinerja membran. Pengukuran pengaruh parameter ini ditujukan menganalisa signifikansi suatu parameter terhadap parameter utama yaitu kandungan SS sesuai dengan asumsi awal yang digunakan.

Pengaruh pH

Selain mempengaruhi flux dan rejeksi, kandungan keasaman juga mempengaruhi umur membran. Namun dalam hal ini hanya akan di analisa pengaruhnya terhadap kinerja membran berdasarkan parameter flux dan rejeksi.

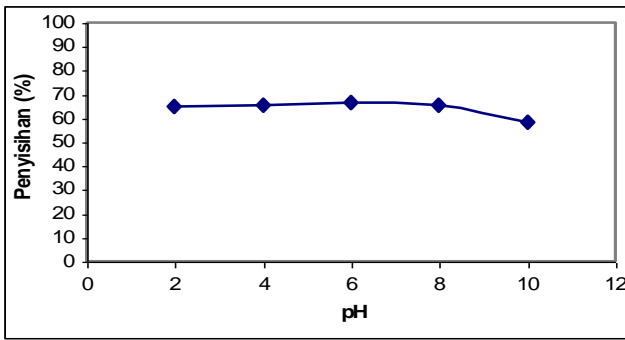
Pengaruh pH umpan terhadap flux dapat dilihat pada Gambar 8 dibawah ini.



Gambar 8. Hubungan Keasaman (pH) dengan Flux

Semakin tinggi nilai pH maka flux cenderung juga menurun. Pada pH tinggi maka beberapa gugus fungsional menjadi terionisasi dan cenderung memiliki muatan negatif (Schnitzer dan Khan, 1972). Membran selulosa asetat cenderung bersifat hidrofilik dan bermuatan negatif, sehingga menahan aliran flux yang juga bermuatan negatif pada pH tinggi.

Hal sebaliknya terjadi pada efisiensi penyisihan atau rejeksi membran. Kenaikan pH cenderung menaikkan nilai rejeksi. Dari hasil pengamatan pada Gambar 9 terlihat bahwa kenaikan tersebut terbatas pada kisaran pH 8. Hal ini disebabkan pada pH rendah asam-asam organik cenderung berubah menjadi molekul-molekul yang lebih kecil dan cenderung bermuatan positif sehingga dapat melewati pori membran. Pada pH tinggi komponen kontaminan akan cenderung terionisasi dan meningkatkan solubilitasnya di dalam larutan.

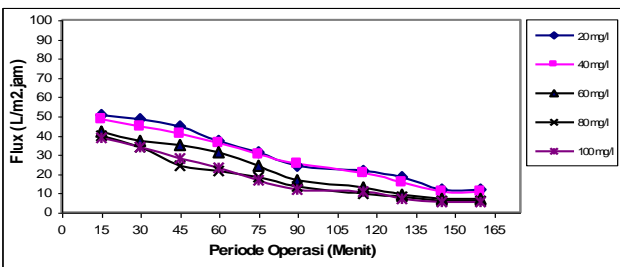


Gambar 9. Hubungan Keasaman (pH) dengan rejeksi

Apabila ditinjau dari proses ionisasinya dapat dijelaskan bahwa apabila pH umpan dibawah 8, pada membran cenderung mengadsorpsi ion-ion positif dan membentuk ikatan hidrogen dengan organik sehingga berdampak pada tingginya flux dan rendahnya rejeksi.

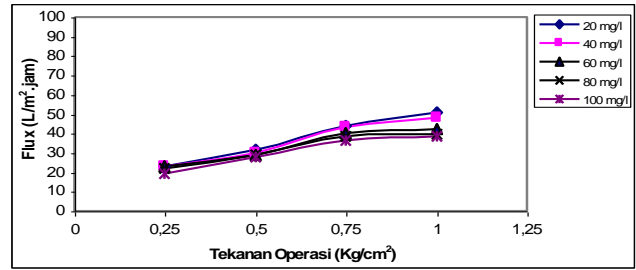
Pengaruh Periode Operasi

Flux akan mengalami penurunan secara drastis walaupun dalam waktu periode penyaringan 160 menit sebagaimana terlihat pada Gambar 10. Dari grafik terlihat bahwa flux pada pengolahan dengan membran mikrofiltrasi ini akan mengalami penurunan sekitar 76% pada periode operasi 160 menit. Pada periode di atas 145 menit terlihat flux cenderung konstan. Hal ini disebabkan telah membesarnya resistensi terhadap tekanan operasi membran.



Gambar 10. Hubungan periode operasi dengan flux membran terhadap kandungan SS

Flux terbesar dipengaruhi oleh tekanan operasi, apabila dihubungkan dengan kandungan SS dapat dilihat pada Gambar 11. Pada kandungan SS terkecil didapatkan flux terbesar, sedangkan parameter tekanan operasi pada nilai tekanan terbesar memberikan efek yang sama. Hal tersebut menguatkan hasil terdahulu bahwa flux sangat dipengaruhi oleh *driving force* dan *fouling* yang terjadi. Semakin besar kedua faktor tersebut maka semakin berpengaruh pula terhadap flux yang dihasilkan.



Gambar 11. Hubungan tekanan operasi dengan flux membran terhadap kandungan SS

KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil penelitian laboratorium dan analisa data yang dilakukan, dapat disusun suatu kesimpulan dan saran sebagai berikut.

Kesimpulan

1. Kandungan SS pada air baku dalam rentang 10 mg/l sampai 100 mg/l memberikan selisih nilai flux pada membran mikrofiltrasi sebesar 24%. Nilai rejeksi tidak mengalami penurunan yang cukup signifikan yaitu hanya berkisar 3.4%.
2. Periode operasi membran ultrafiltrasi ditinjau dari flux yang dihasilkan mengalami penurunan drastis 76% dalam rentang waktu 145 menit. Rejeksi yang dihasilkan cenderung konstan seiring periode operasi.
3. Parameter tekanan operasi memiliki pengaruh terbesar terhadap flux dibandingkan parameter keasaman (pH). Hal sebaliknya terjadi pada rejeksi, pengaruh terbesar kemampuan rejeksi membran diakibatkan oleh parameter keasaman.
4. Flux tertinggi pada percobaan ini didapatkan dari kandungan SS terendah (20 mg/l) dan tekanan operasi tertinggi (1 bar) pada pH 8. Rejeksi tertinggi didapatkan pada tekanan operasi 1 bar dan pH 8, sehingga dapat dikatakan bahwa kondisi optimum dari percobaan ini didapatkan pada tekanan operasi 1 bar, pH 8, dan kandungan SS minimum (20 mg/l).
5. Kandungan kekeruhan pada air baku sangat berpengaruh terhadap flux dan periode operasi dari membran mikrofiltrasi, namun tidak terlalu berpengaruh pada kemampuan rejeksinya. Parameter tekanan operasi dan keasaman air baku berpengaruh kepada kondisi optimum operasional membran.

6. Saran

1. Kinerja membran masih memerlukan penelitian lebih jauh khususnya mengenai pengaruh bahan membran yang digunakan.

2. Kemampuan penyisihan mikrobiologis dapat dianalisa lebih lanjut pada sistem membran mikrofiltrasi ini.
3. Perlunya penggunaan alat atau metode pengukuran kualitas air yang memiliki ketelitian tinggi pada rentang nilai yang rendah.
4. Sistem aliran dapat dianalisa lebih jauh dengan menerapkan aliran cross-flow dan sistem resirkulasi untuk mereduksi pengaruh fouling pada membran.
5. Diperlukan waktu operasi membran yang lebih panjang dan perlu juga dianalisa pengaruh penerapan backwash pada membran.
6. Pengaruh berat molekul dan sifat hidrofobik serta hidrofilik kontaminan terhadap kinerja membran mikrofiltrasi dapat dianalisa lebih lanjut.

DAFTAR PUSTAKA

- Amin, S. dan Jayson, G.G. (1996) *Humic Substances Uptake by Hydrotalcite and Piles*, Jurnal Water Research, vol.30 No.2 pp 299-306
- Anselme, C., Mandra, V., Baudin, I., Jacangelo, J.C. dan Mallevalle, J. (1993) *Removal of Total Organic Matter and Micropollutants by Membrane Process in Drinking Water Treatment*, Water Supply, vol. 11; pp . 200 - 205
- Anselme, C. dan Jacobs, E.P. (1996) *Ultrafiltration in Water Treatment Membrane Process*. eds: Mallevalle J., Odendaal P.E., Wiesner M.R., McGraw-Hill, New York.
- Aptel, P. dan Buckley, C.A. (1996) *Categories of Membrane Operations in Water Treatment Membrane Process*, McGraw-Hill, New York.
- Bell, K.A., Bienlin, K., Ibrahim, E. dan LeChavallier, M. (1996) *Enhanced and Optimized Coagulation for Removal of Particulate and Microbial Contaminants*, Proceedings of Water Quality Technology Conference, AWWA, Boston
- Cheryan, M. (1986) *Ultrafiltration Handbook*, Technomic, Pennsylvania.
- Duranceau, S.J., Taylor, J.S. dan Mulford, L.A. (1992) *SOC Removal in a Membrane Softening Process*, Jurnal AWWA, vol.84 No.1 pp 86-78
- Jacangelo, J.G., Aieta, I.M., Carns, K.E., Cummings, E.W. dan Mallevalle, J. (1989) *Assessing Hollow-Fiber UF for Particulate Removal*, Journal of American Water Work Association, vol.81pp.68-75
- Jacangelo, J.G., Trussell, R.R. dan Watson, M. (1997) *Role of Membrane Technology in Drinking Water Treatment in the United States*, Journal of Desalination / Elsevier, vol.113 pp.119-127
- Mulder, M. (1996) *The Use of Membrane Process in Water Purification*, Proceeding, Bandung.
- Mulder, M. (1996) *Basic Principles of Membrane Technology*, Kluwer Academic Publisher, Netherlands.
- Rautenbach, R. dan Alberch, R. (1981) *Membrane Process*, John Wiley and Sons, England
- Schnitzer, M. dan Khan, S.U. (1972) *Humic Substances in The Environment*, Marcel Dekker. Inc., New York.
- Shorney, H.L., Randtke, S.J., Hargette, P.H. dan Mann, P.D. (1996) *The Influence of Raw Water Quality on Enhanced Coagulation and Softening for the Removal of NOM and DBP Formation Potential*, Proceeding of the Annual Conference of the American Water Works Association, Canada
- Taylor, J.S., Hompson, D.M., Carswell, J.K. (1987) *Applying Membrane Process to Groundwater Sources for Trihalomethane Precursors*, Journal AWWA, vol.79 ; No.8 ; pp.72
- Wiesner, M.R. dan Aptel, P. (1996) *Mass Transport and Permeate Flux and Fouling in Pressure Driven Process in Water Treatment Membrane Process*. eds: Mallevalle J., Odendaal P.E., Wiesner M.R., McGraw-Hill, New York.