

UJI KEMAMPUAN MEMBRAN SELULOSE ASETAT SEBAGAI MEDIA FILTER (MIKROFILTRASI) TERHADAP PENYISIHAN BAKTERI *ESCHERICHIA COLI* PADA PROSES PEMURNIAN AIR

ABILITY OF CELLULOSE ACETATE MEMBRANE TO REMOVE *ESCHERICHIA COLI* FROM TAP WATER

Nasrul¹⁾, Hari Wiko Indaryanto²⁾ dan Irwan Bagyo Santoso²⁾

¹⁾Jurusan Teknik Kimia, Universitas Syiah Kuala, Banda Aceh

²⁾Jurusan Teknik Lingkungan FTSP-ITS Surabaya

Abstrak

Membran bertekanan rendah dengan ukuran pori 0,01- 10 μm mampu menghilangkan suspended solid, minyak, bakteri, dan berbagai impuritis lainnya dari air baku. Hasil penelitian diperoleh adanya pengaruh tekanan operasi, kondisi pH, konsentrasi SS, dan periode operasi terhadap kinerja proses membran mikrofiltrasi. Efisiensi penyisihan *Escherichia coli* maksimum diperoleh 99,996% pada tekanan operasi 1.00 Kg/Cm²; 99,999% pada pH 6; dan 99,998% pada SS 100 mg/L. Fluks maksimum diperoleh sebesar 82,032 L/m²jam pada tekanan operasi 1,25 Kg/Cm²; 68,074 L/m²jam pada pH 2; 65,250 L/m²jam pada SS sebesar 20 mg/L.

Kata kunci: *Escherichia coli*, membran filter, mikrofiltrasi, selulosa asetat,

Abstract

Capability of cellulose acetate membrane was tested in water treatment process as low-pressure membrane with 0.01 – 10 μm pore size could remove suspended solids, oil, bacteria, and other impurities from raw water. The results showed that the operational pressure, pH, SS concentration, and operational period influenced microfiltration process. Maximum rejection efficiency of *Escherichia coli* bacteria was 99.996% at 1.00 Kg/Cm² operation pressure, 99.999% at pH 6, and 99.998% at SS concentration of 100 mg/L. Maximum fluxes were 82.032 L/m²hour at 1.25 Kg/Cm² operational pressure, 68.074 L/m²hour at pH 2, and 65.250 L/m²hour at SS concentration of 20 mg/L SS.

Keywords: *Escherichia coli*, membrane filter, microfiltration, cellulose acetate

1. PENDAHULUAN

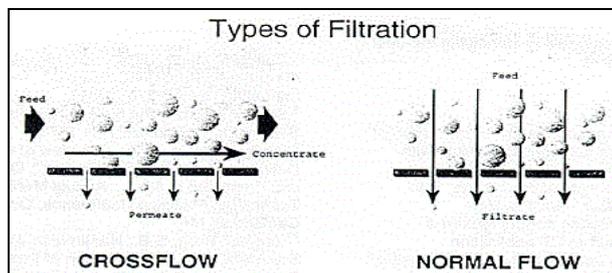
Teknologi membran yang merupakan jenis mikrofiltrasi telah diperkenalkan sebagai pengolahan air minum yang tepat. Mikrofiltrasi merupakan proses pemisahan menggunakan membran yang bersifat semi permiabel, dimana terjadi perpindahan materi secara selektif yang disebabkan oleh gaya dorong, seperti perbedaan potensial listrik, potensial kimia, dan tekanan.

Membran hanya digunakan sebagai penghalang permealitas. Untuk memperoleh terjadinya perpindahan massa melalui membran, diberikan *driving force* (perbedaan potensial), dimana perpindahan komponen terjadi antara bagian berpotensi tinggi ke bagian berpotensi rendah. Perbedaan potensial ini biasanya berupa perbedaan tekanan (ΔP), perbedaan konsentrasi (ΔC), perbedaan temperatur (ΔT), dan perbedaan potensial listrik (ΔE).

Menurut asal membran, membran dibagi dua, yaitu membran alamiah yaitu membran yang terdapat dalam sel tubuh manusia, hewan, dan tumbuhan dan membran sintetik yaitu membran yang dibuat berdasarkan reaksi-reaksi kimia. Berdasarkan kerapatan pori membran terdapat tiga golongan membran, dengan melihat struktur dan prinsip pemisahannya, yaitu membran rapat (*dense membrane*), berupa lapisan film tipis dengan ukuran pori <0,001 μm dan kerapatan pori rendah, membran berpori, berukuran pori lebih besar dan kerapatan pori lebih tinggi dan membran cair, pemisahannya tidak ditentukan oleh membrannya atau bahan pembentuk membran tersebut, tetapi oleh sifat molekul-molekul pembawa yang sangat spesifik. Media pembawa merupakan cairan yang terdapat dalam pori-pori membran.

Pada dasarnya ada dua model proses yang ada yaitu *dead-end* dan *crossflow filtration*. Gambar 1 adalah cara kerja kedua proses tersebut. Pada *dead-end fil-*

tration, aliran tegak lurus permukaan membran, namun penambahan jumlah solid sepanjang permukaan filter dapat menyebabkan sumbatan pada sistem filtrasi tegak lurus ini sehingga partikel yang tertinggal akan terakumulasi dan membentuk sejenis *cake layer*.

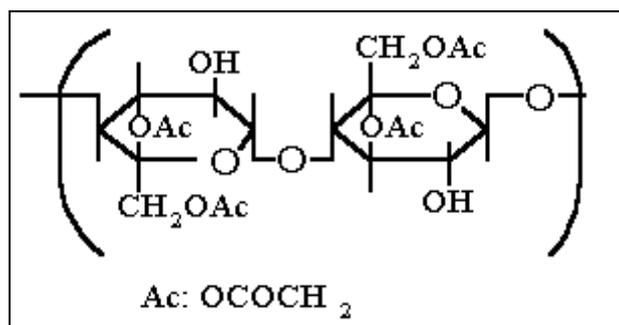


Gambar 1. Tipe Penyaringan Dengan Lapisan Membran

Pada *crossflow filtration*, aliran umpan searah dengan permukaan membran dan menghindari terakumulasi solute di permukaan membran. Gerakan cross flow dari air dalam suatu sistem mikrofiltrasi memberikan laju penyaringan yang tinggi dan dapat dipertahankan terus-menerus

Faktor yang berpengaruh terhadap efisiensi removal dan fluks air selama proses adalah karakteristik membran, tekanan operasi, pH, konsentrasi umpan, temperatur operasi, dan daya saing antar bahan.

Bahan mentah membran selulosa asetat adalah selulosa. Selulosa merupakan polisakarida yang didapat dari tanaman. Berat molekulnya bervariasi mulai dari 500.000 sampai 1.500.000. Selulosa dan derivatnya mempunyai struktur rantai yang linier, seperti batang dan molekulnya infleksibel, dan merupakan karakteristik penting untuk aplikasi RO dan ultrafiltrasi. Selulosa bersifat sangat hidrofilik namun tidak dapat larut dalam air. Hal ini disebabkan karena sifat kristalin dan ikatan hidrogen antara gugus hidroksil. Material selulosa dapat dilihat pada Gambar 2 di bawah ini.



Gambar 2. Material Selulosa

Ada beberapa keuntungan selulosa asetat dan derivatnya sebagai material membran, yaitu sifat merejeksi fluks dan garam yang tinggi, kemudian membran selulosa asetat relatif mudah untuk manufaktur dan bahan mentahnya merupakan sumber yang dapat diperbarui (*renewable*).

Tes total coliform bakteri adalah suatu indikator utama terhadap sanitasi dan kelayakan air minum untuk dikonsumsi. Pengukuran konsentrasi coliform bakteri berhubungan dengan kemungkinan munculnya penyebab penyakit bagi tubuh.

Escherichia coli adalah bakteri dalam kelompok *enterobacteriaceae* yang bersifat gram negatif, anaerobik fakultatif, batang halus, batang sedang, tidak membentuk spora, fermentatif, dan biasanya bergerak. Bakteri coli adalah bagian mikrobiologi alam yang terdapat dalam usus mamalia. Bakteri coli juga dapat ditemui dalam tanah, hewan lain, serangga, dan lain sebagainya. Total Bakteri coli relatif mudah di kultur di laboratorium, dan juga telah ditunjuk sebagai indikator utama bakteri penyebab penyakit bagi organisme.

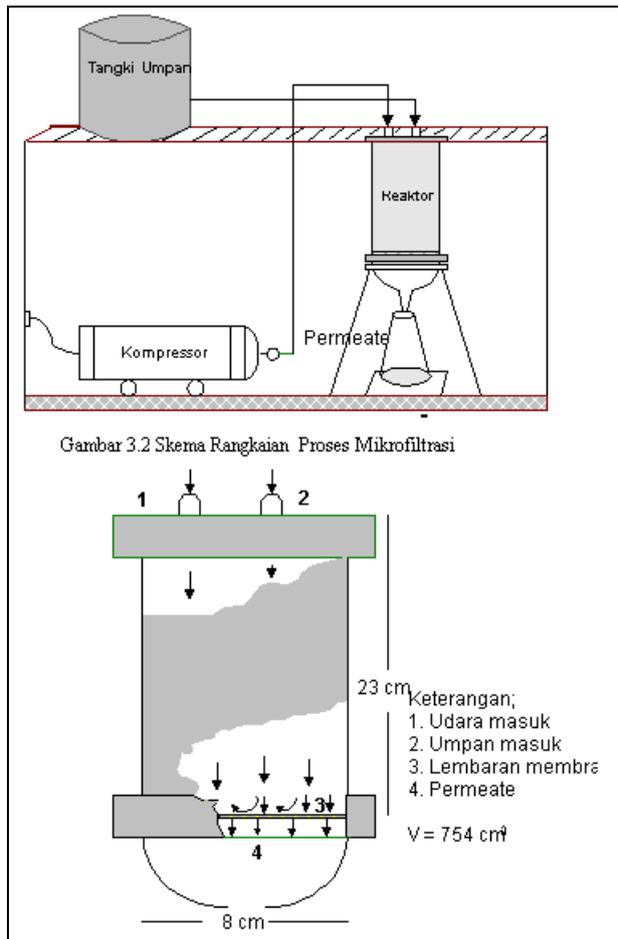
Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui kinerja dari proses mikrofiltrasi membran selulosa asetat dan untuk mengetahui pengaruh tekanan operasi, pH air baku, dan konsentrasasi awal air baku terhadap penyisihan bakteri *Escherichia coli* dan perolehan fluks.

2. METODOLOGI

Alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini antara lain modul dudukan membran, kompresor, pengatur tekanan udara, pH meter, pengukur kekeruhan, timbangan analitis, oven, desikator, tangki air, gelas ukur, pipet volume dan erlenmeyer. Dan kemudian untuk bahan yang digunakan membran CA plate 0,2 μm 47 mm sampel air produksi PD-AM Surabaya yang diambil pada Instalasi Ngagel III, bahan kimia untuk keperluan analisa bakteri coli

Sedangkan variable penelitian yang digunakan adalah pengaruh perlakuan tekanan operasi, pengaruh pH air baku, pengaruh konsentrasi umpan (SS) dan pengaruh periode operasi. Metode penghitungan bakteri coli menggunakan metode MPN (*Most Probable Number*).

Reaktor yang digunakan dalam penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 3 berikut.



Gambar 3.2 Skema Rangkaian Proses Mikrofiltrasi

Gambar 3. Detail Membran Reaktor

Fluks didefinisikan sebagai jumlah volume permeate yang melewati membran per satuan luas permukaan per satuan waktu seperti dituliskan pada persamaan berikut :

$$J = \frac{V}{A.t} \tag{1}$$

Dimana :

J = fluks (1/m²jam)

V = volume permeate (liter)

A = luas permukaan membran (m²)

t = waktu penyaringan (jam)

Untuk menghitung koefisien Rejeksi Membran digunakan rumus :

$$R (\%) = \left(1 - \frac{C_p}{C_f} \right) \times 100\% \tag{2}$$

Dimana :

C_p = konsentrasi permeat

C_f = konsentrasi umpan

R = faktor penolakan (%)

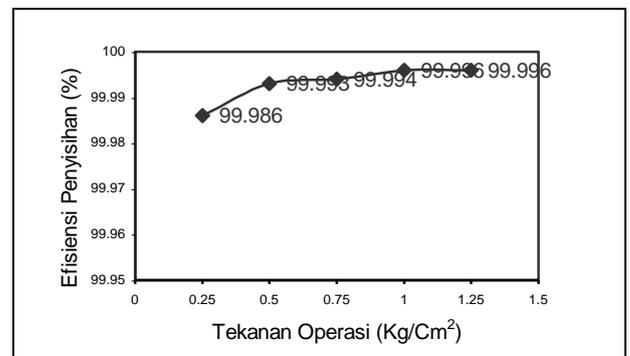
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Tekanan operasi sangat mempengaruhi rejeksi dan fluks membran. Secara tipikal membran mikrofiltrasi dapat dioperasikan pada tekanan dari 0,1 sampai dengan 2 bar (20 sampai 40 psig) (Paulson dan Jondahl, 2000). Pada percobaan penelitian ini diterapkan tekanan operasi pada 0,25; 0,50; 0,75; 1,00; dan 1,25 Kg/Cm². Hasilnya adalah sebagaimana ditampilkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil Perhitungan Efisiensi Rejeksi Dan Fluks Membran Pada Berbagai Tekanan Operasi

Tek. Operasi (Kg/cm ²)	Efisiensi	Fluks (L/m ² .jam)
0,25	99,986	30,028
0,50	99,993	40,780
0,75	99,994	56,780
1,00	99,996	66,036
1,25	99,996	82,032

Hubungan tekanan operasi terhadap besarnya efisiensi penyisihan *Escherichia coli* diperlihatkan pada Gambar 4 di bawah ini.



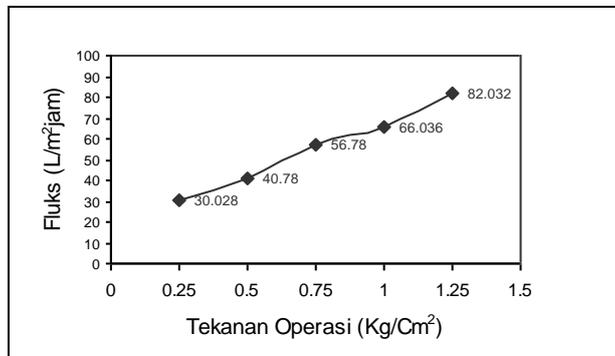
Gambar 4. Hubungan Tekanan Operasi Terhadap Efisiensi Penyisihan *Escherichia coli*

Dapat diketahui bahwa jika tekanan operasi ditingkatkan, maka efisiensi penyisihan juga meningkat. Efisiensi penyisihan maksimum *Escherichia coli* mencapai angka maksimal sebesar 99,996% pada rentang tekanan operasi 1.00 Kg/Cm² dan 1,25 Kg/Cm².

Penyisihan membran akan meningkat dengan peningkatan tekanan operasi, hal ini disebabkan pada tekanan yang tinggi, *permeabilitas solvent* meningkat dibandingkan solute. Harga penyisihan yang diperoleh pada setiap kenaikan tekanan meningkat. Terjadinya kenaikan penyisihan antara rentang tekanan operasi ini disebabkan oleh pengompakan (*compaction*).

Dari hasil penelitian yang dilakukan dengan variasi tekanan operasi pada pada 0,25; 0,50; 0,75; 1,00; dan 1,25 Kg/Cm², didapatkan fluks maksimal sebesar 82,032 L/m²jam pada tekanan maksimal 1.25 kg/cm².

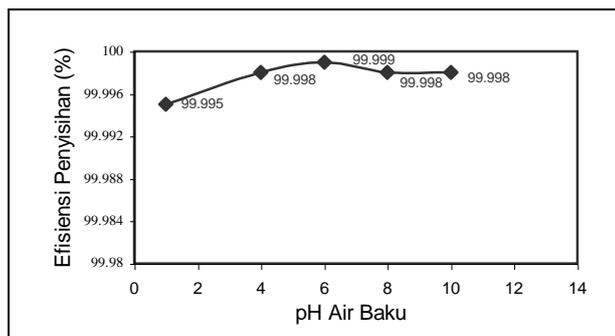
Dari Gambar 5 di bawah ini dapat dengan jelas diketahui bahwa kurva naik hampir membentuk garis lurus, yang menunjukkan bahwa fluks akan terus meningkat apabila tekanan operasi dinaikkan.



Gambar 5. Pengaruh Tekanan Operasi Terhadap Perolehan Fluks

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa peningkatan tekanan operasi akan menyebabkan meningkatnya efisiensi penyisihan maupun fluks yang dihasilkan. Hal ini dikarenakan peningkatan rejeksi seiring dengan kenaikan tekanan operasi akan mengakibatkan ukuran pori rata-rata pada permukaan membran menjadi kecil.

pH memberikan pengaruh signifikan terhadap fluks dan rejeksi untuk membran mikrofiltrasi. Fluks menurun seiring dengan kenaikan pH larutan, dimana rejeksi meningkat dengan peningkatan nilai pH pada membran nanofiltrasi. Gambar 6 di bawah ini memperlihatkan bahwa kurva naik mulai pada pH 2 sampai mencapai puncak pada pH 6 dan kembali turun pada pH 8 dan pH 6.



Gambar 6. Hubungan Kondisi pH Air Baku Terhadap Penyisihan *Escherichia Coli*

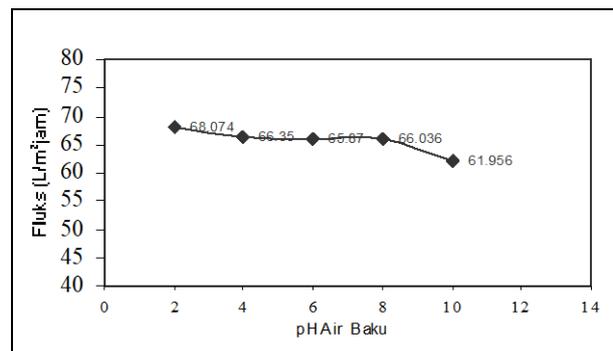
Melalui analisa regresi kurva penyisihan maksimum diperoleh pada pH antara 6 dan 8, yaitu sebesar 99,999% untuk *Escherichia coli* dan 87,12% untuk kekeruhan. Artinya bahwa penyisihan maksimum diperoleh pada air baku alami yaitu antara pH 6 dan 8 (tanpa penambahan asam ataupun basa). Pengaruh pH air baku terhadap efisiensi penyisihan dan fluks membran dapat dilihat pada Tabel 2 berikut ini.

Tabel 2. Pengaruh pH Air Baku Terhadap Efisiensi Penyisihan Dan Fluks Membran

pH	Efisiensi	Fluks (L/m ² jam)
2	99,995	68,074
4	99,998	66,350
6	99,999	65,870
8	99,998	66,036
10	99,998	61,956

Pada pH tinggi atau rendah, diperoleh penyisihan yang rendah, karena senyawa-senyawa organik mengalami perubahan komposisi baik pada pH rendah maupun pada pH tinggi. Pada pH rendah asam-asam organik tidak hanya diubah menjadi molekul-molekul yang lebih kecil, tetapi juga dirubah menjadi bermuatan positif, sehingga larutan akan mengalir melalui membran dengan mudah.

Gambar 7 di bawah ini memperlihatkan kurva hubungan antara kondisi pH air baku terhadap fluks yang dihasilkan.



Gambar 7. Hubungan Antara Kondisi pH Air Baku Terhadap Perolehan Fluks

Gambar 7 menunjukkan bahwa kurva cenderung menurun apabila pH air baku ditingkatkan. Pada pH 2 diperoleh fluks sebesar 68, 074 L/m²jam dan 61,956 L/m²jam pada pH 10. Terlihat bahwa permeasi fluks lebih tinggi pada pH rendah, dan rendah pada pH tinggi.

Pada pH rendah senyawa-senyawa organik yang ada dalam air baku membentuk ikatan hidrogen,

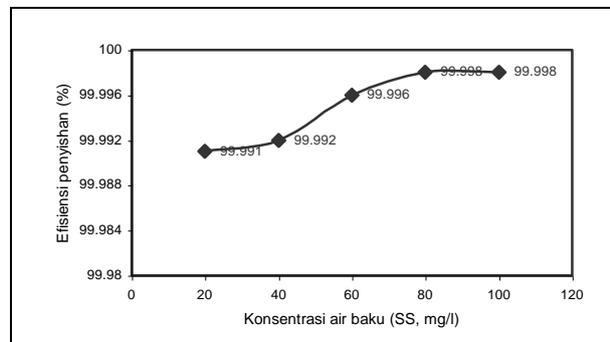
oleh karena itu larutan dapat melewati membran dengan mudah karena membran bermuatan negatif. Fluks maksimum diperoleh sebesar 68,074 L/m²jam pada pH 2.

Pada penelitian ini kaolin digunakan sebagai partikel suspended solid. Hasil perhitungan data analisa pengaruh konsentrasi suspended solid terhadap efisiensi penyisihan *Escherichia coli* serta fluks yang dihasilkan ditampilkan pada Tabel 3.

Tabel 3. Pengaruh Konsentrasi Umpan (SS) Terhadap Efisiensi Penyisihan Dan Fluks Membran

SS (mg/l)	Efisiensi (%)	Fluks (L/m ² jam)
2	99,995	68,074
4	99,998	66,350
6	99,999	65,870
8	99,998	66,036
10	99,998	61,956

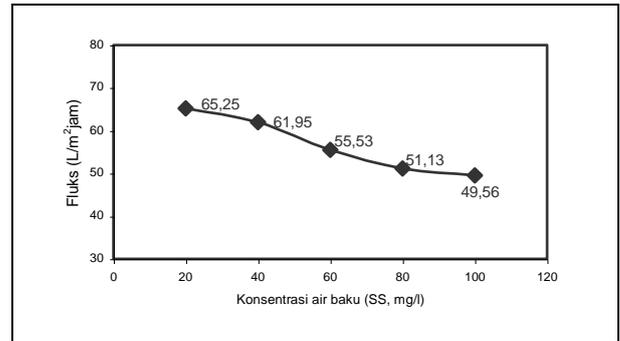
Gambar 8 memperlihatkan hubungan antara konsentrasi *suspended solid* air baku terhadap efisiensi penyisihan kekeruhan dan *Escherichia coli*.



Gambar 8. Hubungan Konsentrasi SS Terhadap Efisiensi Penyisihan *Escherichia Coli*.

Efisiensi penyisihan meningkat dengan meningkatnya konsentrasi *suspended solid*. Pada konsentrasi *suspended solid* 20 mg/l didapatkan efisiensi penyisihan masing-masing untuk kekeruhan dan *Escherichia coli* sebesar 82,595% dan 99,991%. Efisiensi penyisihan maksimum kekeruhan diperoleh sebesar 85,914%, dan *Escherichia coli* sebesar 99,998% yang dicapai pada konsentrasi *suspended solid* 100 mg/l. Efisiensi penyisihan yang meningkat ini dikarenakan proses adsorpsi kandungan *Escherichia coli* oleh koloid inorganik, demikian juga pengurangan ukuran pori oleh *suspended solid* dapat juga menyebabkan penyisihan tinggi.

Hubungan antara konsentrasi *suspended solid* terhadap fluks yang dihasilkan dengan proses mikrofiltrasi diperlihatkan pada Gambar 9 berikut ini.

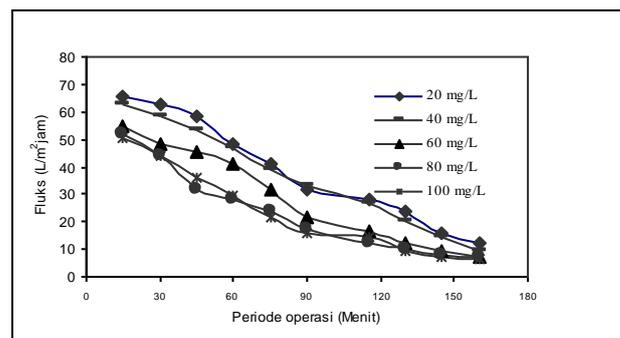


Gambar 9. Hubungan Konsentrasi *Suspended Solid* Terhadap Perolehan Fluks

Fluks menurun dengan peningkatan konsentrasi *suspended solid* pada range 10 mg/L sampai dengan 100 mg/L. Fluks mencapai 65,25 L/m²jam pada konsentrasi *suspended solid* 20 mg/L, dan menurun menjadi 49,56 L/m²jam pada konsentrasi *suspended solid* 100 mg/L. Hal ini dikarenakan terjadi *fouling* pada permukaan membran akibat penutupan pori membran oleh kandungan *suspended solid* pada air baku. Fluks dapat berkurang karena tahanan hidrolik pada lapisan polarisasi konsentrasi.

Seperti pada kasus lapisan material koloid, ukuran dan bentuk molekul organik penting dalam penentuan perpindahan molekul menuju dan melewati membran serta potensialnya untuk penetrasi ke dalam pori membran. Kroner (1994) melaporkan hasil penelitian terhadap penyisihan *Escherichia coli* dengan menggunakan membran mikrofiltrasi, bahwa fluks menurun sesuai dengan pertambahan waktu membentuk suatu kurva eksponensial. Umumnya fluks akan menurun dengan pertambahan waktu operasi karena tekanan osmosis oleh peningkatan konsentrasi pada permukaan membran.

Grafik hubungan antara periode operasi terhadap fluks yang dihasilkan pada berbagai konsentrasi *suspended solid* diperlihatkan pada Gambar 10 berikut ini.



Gambar 10. Hubungan Antara Periode Operasi Terhadap Perolehan Fluks

Gambar 10 menunjukkan bahwa dalam waktu yang sangat singkat fluks dari proses filtrasi menurun secara drastis. Hal ini dikarenakan adanya gaya dorong pada saat proses filtrasi menimbulkan penahanan sebagian besar makromolekul oleh membran sehingga menyulitkan proses pemisahan antara partikel tersuspensi dan makromolekul di dalam larutan (Wenten, 1996).

Nilai fluks terakhir yang diperoleh pada waktu operasi 160 menit berbeda berdasarkan kandungan konsentrasi *suspended solid* air baku. Sampel dengan kandungan konsentrasi *suspended solid* 20 mg/L dihasilkan fluks pada 15 menit pertama sebesar 65,88 L/m²jam dan pada waktu operasi 160 menit dihasilkan fluks 12 L/m²jam. Sedangkan untuk sampel dengan kandungan konsentrasi *suspended solid* 100 mg/L dihasilkan fluks 50 L/m²jam dan pada waktu operasi 160 menit hanya dihasilkan fluks hanya 6,27 L/m²jam.

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan, maka hipotesis yang ada dinyatakan terbukti. Teknologi membran mikrofiltrasi mampu menghilangkan kekeruhan sebesar 87,42% dan bakteri *Escherichia coli* sebesar 99,99% dalam air baku. Demikian juga variabel-variabel seperti tekanan operasi, pH air baku, konsentrasi *suspended solid*, dan periode operasi dapat mempengaruhi kinerja proses mikrofiltrasi.

4. KESIMPULAN

Teknologi membran mikrofiltrasi dari bahan polimer selulosa asetat dapat digunakan untuk menyisihkan kandungan kekeruhan dan bakteri *Escherichia coli* dari air baku. Hubungan parameter-parameter operasi terhadap kinerja proses mikrofiltrasi membran selulosa asetat dapat dijelaskan sebagai berikut. *Pertama*, peningkatan tekanan operasi menyebabkan efisiensi meningkat dan fluks yang dihasilkan meningkat tajam. *Kedua*, pH umpan tidak mempengaruhi efisiensi tetapi berpengaruh terha-

dap fluks yaitu penurunan fluks seiring dengan peningkatan pH. *Ketiga*, peningkatan konsentrasi SS mengakibatkan peningkatan efisiensi juga dan penurunan fluks. *Keempat*, fluks menurun seiring penambahan waktu operasi. Efisiensi penyisihan *Escherichia coli* 99,996% terjadi pada tekanan operasi 1,00 Kg/Cm² dan perolehan fluks maksimum yang terjadi adalah 82,032 L/m²jam pada tekanan operasi 1,25 Kg/Cm², sedangkan efisiensi *Escherichia coli* 99,999% terjadi pada pH 6 dan perolehan fluks maksimum yang terjadi adalah 68,074 L/m²jam pada pH 2. Dan efisiensi *Escherichia coli* 99,998% terjadi pada SS 100 mg/L dan perolehan fluks maksimum yang terjadi adalah 65,250 L/m²jam pada SS 20 mg/L. Kondisi operasi maksimum dapat diterapkan dengan spesifikasi sebagai berikut, tekanan Operasi 1,00 Kg/Cm², pH air umpan 6-8 dan konsentrasi SS umpan 20 mg/L

DAFTAR PUSTAKA

- Paulson, D. dan Jondahl, K. (2000). **Application of Membrane Technology For The Recovery and Reuse of Water**. Osmonic.Inc.
- Kroner, K.H. (1994). **Cross-flow Filtration of Biological Suspensions in Membran Processes**. In Separation and Purification. Kluwer Akademik Publisher. Netherland.
- Mulder, M. (1996). **The Use of Membrane Process in Water Purification; Cleaning Technology and Clean Technology**. *Prosiding Seminar T.Kimia ITB*. Bandung
- Mulder, M. (1994). **Energy Requirements in Membrane Separation Processes**, In: Membrane Processes In Separation And Purification. Kluwer Akademik Publisher. London.
- Wenten, I.G. (1996). **Teknologi Membran Industrial**. Jurusan Teknik Kimia ITB, Bandung.