

KINERJA MEMBRAN MIKROFILTRASI DALAM MENGURANGI BAKTERI PADA PROSES PEMURNIAN AIR

PERFORMANCE OF MICROFILTRATION MEMBRANE IN BACTERIAL REMOVAL IN WATER PURIFICATION PROCESSING

Sri Mulyati
Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Syiah Kuala, Aceh
email: sri_nafidz@yahoo.com

Abstrak

Proses mikrofiltrasi adalah salah satu teknologi pengolahan air minum yang dapat menghilangkan padatan tersuspensi dan bakteri. Penelitian dilakukan dengan menggunakan membran polimer selulosa asetat sebagai media penyaring dengan ukuran pori 0,2 mm dan berdiameter 47 mm. Modul membran didesain dengan aliran *dead-end* (tegak lurus dengan lapisan membran) dan aliran *crossflow* (aliran silang). Proses ini dilakukan dengan memvariasikan tekanan operasi dan pH air baku.

Dari hasil penelitian diperoleh harga koefisien permeabilitas air murni sebesar 2,7952 mL/detik.m².bar. Rejeksi dan fluks maksimum yang diperoleh adalah sebagai berikut: fluks maksimum sebesar 6,325 mL/detik.m² untuk aliran *crossflow* sedangkan aliran *dead-end* diperoleh sebesar 4,578 mL/detik.m², fluks maksimum untuk kedua proses terjadi pada tekanan umpan 1,25 bar. Pada membran baik aliran *crossflow* maupun *dead end* rejeksi *Escherichia coli* dan kekeruhan tertinggi 100% diperoleh pada tekanan 0,25 bar untuk rejeksi *E. coli* dan 98,81% untuk rejeksi kekeruhan. Kondisi optimal untuk pH terjadi pada range pH 6-8, dimana fluks dan rejeksi maksimum didapat sebesar 100 %.

Kata kunci: cross flow, *dead-end*, *E. coli*, fluks, rejeksi

Abstract

Microfiltration process is a drinking water technology for removing suspended solids and bacterial contents. This research work was focused on membrane made from cellulose acetate polymer with 0,2 mm pore diameter and 47 mm diameter as filter media to separate the turbidity and *Escherichia coli* from feed water. The module of membrane designed with dead-end filtration and crossflow filtration from acrylic material. The variables of the process are levels of pressure, pH condition of sample water, and suspended solid concentration.

Results of this research showed the permeability coefficient of membrane of 2,7952 mL/sec.m².bar. In crossflow filtration the maximum fluxes were 6.325 mL/det.m².bar, while dead-end process was 4.578 mL/sec.m².bar occurs at the pressure level of 25 bar. In both processes, the maximum rejection was found in 100% *E. coli* and 98,81% of turbidity occurs at the pressure level 0,25. The optimal condition for pH was occurs at range pH 6-8. Fluxes and rejection maximum obtained (100 %) at this condition.

Key words: crossflow, dead-end, *E.coli*, flux, rejection

1. PENDAHULUAN

Air minum harus memenuhi persyaratan fisik, kimia maupun bakteriologis. Air juga merupakan medium pertumbuhan mikroba patogenik yang berbahaya bagi kesehatan. Banyak mikroba merupakan penyebab penyakit melalui perantara minuman, seperti *Salmonella typhi*, *Shigella*, *Escherichia coli*, *Vibrio cholerae* dan *Compylobacter jejuni*. Berdasarkan SK Men KLH No.KEP-02/MENKLH/ 1988, jumlah *Most*

Probable Number (MPN) *E. coli* air minum adalah 0/100 mL sampel.

Coliform merupakan kelompok bakteri indikator polusi dan kondisi sanitasi yang tidak baik terhadap air, makanan, susu dan produk-produk susu. Adanya bakteri coliform di dalam makanan atau minuman menunjukkan kemungkinan adanya mikroorganisme yang bersifat enteropatogenik dan toksigenik yang berbahaya bagi kesehatan (Fardiaz, 1992).

Keberadaan air pada saat ini cukup mengkhawatirkan, terutama di perkotaan. Banyak air sumur tidak layak minum, karena tercemar bakteri dan zat kimia. Meningkatnya polusi akibat buangan industri, rumah tangga atau resapan air laut pada estuari, dan bahan herbisida/pestisida, menyebabkan kualitas air permukaan memburuk melebihi batas yang diizinkan.

Persyaratan air siap minum adalah mampu memenuhi baku mutu hingga ke konsumen sepanjang waktu. Salah satu upaya untuk memenuhi hal tersebut adalah mengolah air baku menjadi air minum dan menjaga kualitasnya pada jaringan distribusi. Proses pengolahan untuk menghilangkan bahan organik dari sumber air permukaan terdiri atas adsorpsi, oksidasi atau kombinasi keduanya. Pengolahan secara konvensional hanya menghilangkan sedikit pestisida terlarut dengan keberhasilan terbatas. (Totok dan Sutrisno, 1991).

Proses karbon aktif mampu mengurangi pestisida lebih banyak, namun efektivitas prosesnya belum diketahui. Oksidasi dengan ozon dapat mengurangi kadar pestisida, tetapi THM tidak dapat sepenuhnya dihancurkan, sehingga meningkatkan beban *Total Organic Carbon* (TOC). Sebagai konsekuensinya kadar nutrisi untuk pertumbuhan bakteri meningkat. Masalah tersebut dapat diatasi dengan pemurnian air dengan teknologi membran. Teknologi ini mampu menyaring dan menghilangkan berbagai zat terlarut dengan berat molekul tinggi, aneka koloid, mikroba, dan padatan tersuspensi (Marsono, 1996).

Teknologi membran tergolong teknologi yang hemat energi dan bersih. Pengoperasiannya tidak memerlukan energi yang besar. Selain itu juga tidak diperlukan zat-zat kimia pendukung sehingga diperkirakan tidak menimbulkan masalah baru yang berkaitan dengan limbah (Osmonic, 2000). Namun, proses membran juga mempunyai kelemahan akibat munculnya peristiwa polarisasi konsentrasi. Polarisasi konsentrasi terjadi karena molekul-molekul dengan berat molekul besar menjadi tertahan pada permukaan membran dan terakumulasi, sehingga seolah-olah menimbulkan tahanan yang baru. Akibat polarisasi konsentrasi, permeabilitas akan menurun, sedangkan koefisien penolakan membran terhadap spesi tertentu akan membesar sejalan dengan waktu (Memos, 2000).

Peristiwa polarisasi konsentrasi banyak terjadi pada proses mikrofiltrasi dengan aliran *dead-end*, yaitu larutan umpan dan permeat mengalir secara tegak lurus terhadap permukaan membran. Untuk mengatasi gejala polarisasi konsentrasi digunakan aliran *crossflow* dimana larutan konsentrat mengalir sejajar dengan permukaan membran, sedangkan permeat mengalir tegak lurus terhadap aliran konsentrat (Mulder, 1996).

Pada proses filtrasi, molekul-molekul dengan berat molekul besar yang tidak dapat menembus membran akan tertahan, sehingga terakumulasi pada permukaan membran yang menyebabkan terjadinya polarisasi konsentrasi. Hal ini mempengaruhi kinerja membran yaitu berubahnya koefisien penolakan membran terhadap partikel-partikel dengan berat molekul rendah dan turunnya nilai fluks.

Pada penggunaan proses mikrofiltrasi aliran *crossflow* diharapkan diperoleh kinerja pemisahan yang lebih baik pada proses pemurnian air. Parameter-parameter operasi seperti tekanan operasi, kondisi pH umpan, dan konsentrasi *suspended solids* air umpan akan mempengaruhi kinerja membran tersebut. Pada penelitian ini diaplikasikan membran mikrofiltrasi dengan dua aliran yaitu *dead-end* dan *crossflow filtration*, dengan hipotesis bahwa proses dengan *crossflow* mampu memberi kinerja yang lebih baik.

Penelitian ini bertujuan untuk mencari alternatif pengolahan air bersih yang aman dan bebas dari pemakaian bahan kimia, mengetahui kinerja dari proses pemurnian air dengan sistem mikrofiltrasi secara *dead-end* dan *crossflow filtration* berupa efisiensi penyisihan *E. coli* dan kekeruhan, serta volume air yang tersaring per satuan waktu dan luas permukaan membran, dengan menggunakan membran dari bahan *selulosa asetat*.

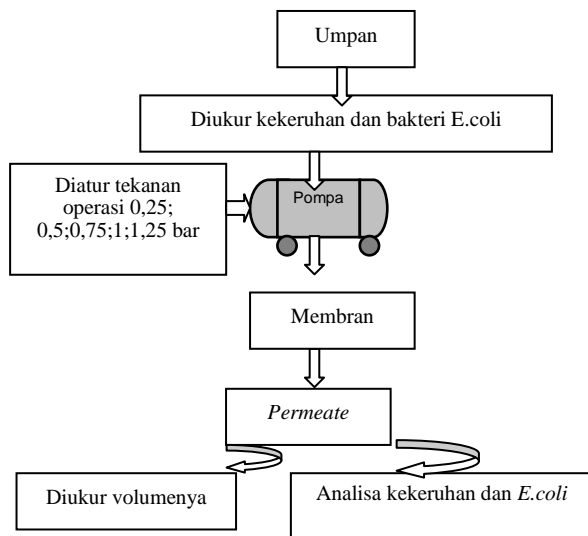
2. METODOLOGI

Penelitian dilakukan dalam beberapa tahap, yaitu: (1) Persiapan alat dan bahan, yaitu pengadaan membran, berupa membran komersil yang dibeli di Bandung, dan perancangan modul dirancang dari bahan *acrylic* di Laboratorium Gelas, Jurusan Teknik Kimia, ITB serta pengadaan perlengkapan laboratorium lainnya, (2) Penentuan koefisien permeabilitas air dengan cara melewatkan air murni pada membran. Kemampuan membran

untuk melewatkan air berdasarkan tekanan operasi pada membran, (3) Penentuan kinerja membran mikrofiltrasi untuk mengetahui penyisihan bakteri dan kekeruhan yang dapat dilakukan oleh membran mikrofiltrasi. Kinerja membran dapat dilihat dengan menghitung fluks dan rejeksi membran.

Penentuan Koefisien Permeabilitas Air Murni.

Setelah peralatan dirangkai sesuai dengan konsep penelitian maka langkah-langkah untuk proses dapat dilihat pada diagram alir proses yang disajikan pada Gambar 1.



Gambar 1. Diagram Alir Proses Mikrofiltrasi

Percobaan Mikrofiltrasi Berdasarkan Variabel Penelitian

Setelah dilakukan pengukuran terhadap koefisien permeabilitas membran dilanjutkan percobaan penuh berdasarkan variabel-variabel penelitian. Langkah-langkah perlakuan sama dengan proses pengujian permeabilitas air murni. Variabel penelitian yang dilaksanakan adalah:

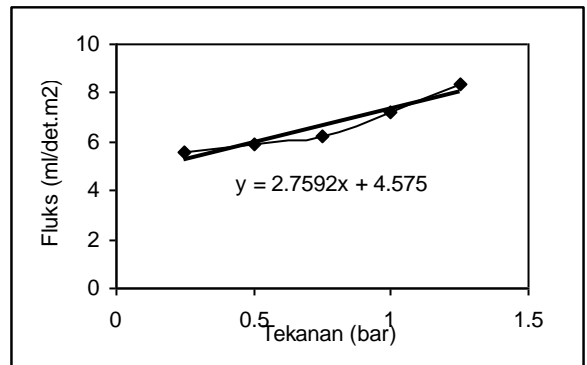
- Uji pengaruh tekanan operasi (0,25 bar, 0,5 bar, 0,75 bar, 1,0 bar dan 1,25 bar)
- Uji pengaruh pH umpan (2, 4, 6, 8, 10).

Hasil dari proses percobaan pada berbagai perlakuan dan besaran variabel yang digunakan, akan diamati antara lain: (1) Volume *permeate* yang melalui membran, (2) Kandungan bakteri dan kekeruhan sebelum dan sesudah dilakukan proses mikrofiltrasi untuk kedua metode baik *dead-end* filtration dan *crossflow* filtration. Berdasarkan hasil pengamatan akan memberikan suatu gambaran bahwa proses yang mana yang memberikan kinerja membran yang lebih baik.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Permeabilitas Air Murni

Permeabilitas air murni adalah kemampuan membran untuk melewatkan air berdasarkan tekanan operasinya. Koefisien permeabilitas (L_p) menjadi salah satu faktor penentu karakteristik membran. Koefisien tersebut menunjukkan kemudahan air (*distilled water*) melewati membran. Harga L_p diperoleh dari kemiringan (*slope*) grafik fluks terhadap tekanan operasi (Mulder, 1991). Dari Gambar 2 diperoleh harga koefisien permeabilitas air murni sebesar 2,7952 mL/det.m² bar.



Gambar 2. Grafik Permeabilitas Air Murni

Pengaruh Tekanan terhadap Fluks

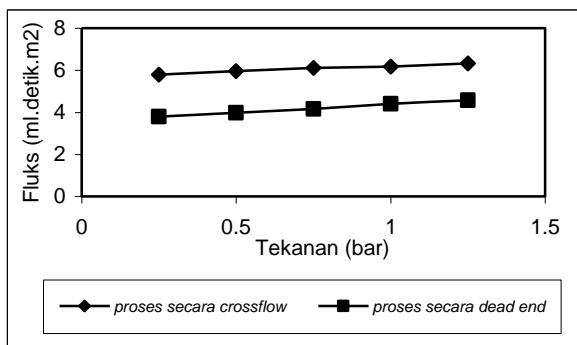
Laju permeasi molekul umpan dipengaruhi oleh gaya dorong yang diberikan pada sistem. Gaya dorong dapat berupa beda tekanan antara sisi umpan dan sisi permeat. Beda tekanan ini dapat dihasilkan dengan memberi tekanan pada sisi umpan sedangkan sisi permeat berada pada tekanan atmosfer. Hubungan fluks dan tekanan operasi dinyatakan dalam persamaan berikut:

$$J = L_p \times P$$

Persamaan di atas menunjukkan bahwa semakin besar tekanan trans membran, fluks semakin besar karena pelarut dapat melewati membran dengan lebih mudah. Semua membran mengikuti kecenderungan bahwa semakin besar tekanan operasi maka semakin besar fluks yang dihasilkan.

Fluks diperoleh dengan mengalurkan data volume permeat terhadap waktu. Fluks ditentukan pada proses mikrofiltrasi telah berada dalam kondisi tunak, di mana jumlah volume permeat yang melewati membran konstan. Secara tipikal membran mikrofiltrasi dapat dioperasikan pada tekanan 0,1-2 bar (David, 2000). Tekanan operasi yang digunakan adalah 0,25, 0,50, 0,75, 1,0, 1,25 bar. Pada proses *dead-end* maupun *crossflow*

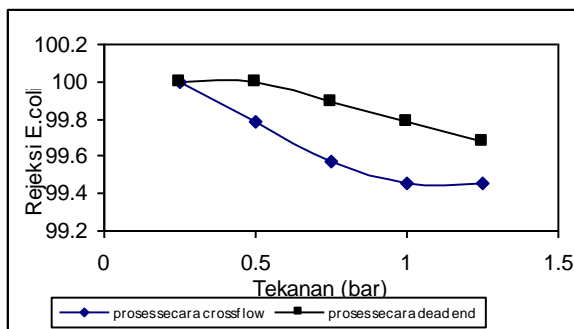
fluks bertambah besar dengan meningkatnya tekanan (Gambar 3).



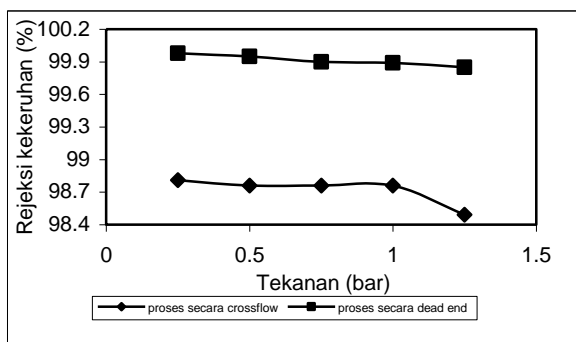
Gambar 3. Pengaruh Tekanan Terhadap Fluks Aliran *Crossflow* dan *Dead-End*

Pengaruh Tekanan Terhadap Rejeksi

Kenaikan tekanan cenderung menurunkan rejeksi *E.coli* dan kekeruhan (Gambar 4 dan 5). Tekanan operasi mendorong molekul umpan melewati membran. Semakin besar gaya dorong, semakin besar jumlah molekul umpan yang melewati membran, atau rejeksi semakin kecil (Kroner,1994).



Gambar 4. Pengaruh Tekanan Terhadap Rejeksi *E.coli*



Gambar 5. Pengaruh Tekanan Terhadap Rejeksi Kekeruhan

Rejeksi *E. coli* pada kedua proses cenderung menurun terhadap kenaikan tekanan. Kenaikan tekanan (*driving force*) cenderung menurunkan pengaruh polarisasi konsentrasi dan meningkatkan

konsentrasi solut pada permukaan membran. Akibatnya permeat yang melalui membran konsentrasinya lebih tinggi dan rejeksi yang teramati akan turun.

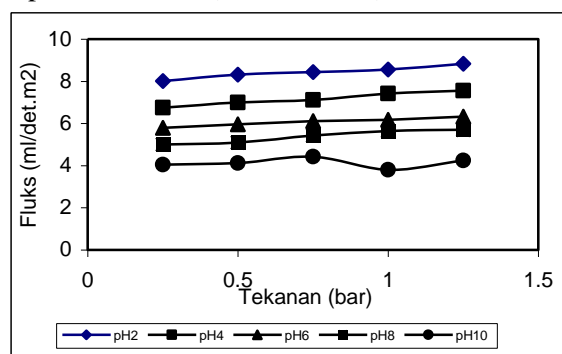
Pengaruh pH umpan

Nilai pH selain sering dipertimbangkan berpengaruh terhadap kandungan zat, derajat keasaman atau kebasaan, juga mempengaruhi umur membran. Pada dasarnya larutan mempunyai catatan bermasalah terhadap membran selulosa asetat, karena laju hidrolisis meningkat secara eksponensial dengan peningkatan nilai pH. Resistensi terhadap *range* pH merupakan syarat lain dalam stabilitas kimiawi (Mulder, 1996).

Pengaruh pH Air Baku Terhadap Fluks Membran

Pada aliran *crossflow* dan *dead-end* apabila pH air baku semakin rendah, fluks yang terjadi semakin besar. Hal ini dikarenakan sifat asam air baku akan merusak struktur pori-pori membran selulosa asetat, sehingga membran akan memuai dan menghasilkan fluks yang tinggi. Sedangkan apabila pH ditingkatkan, lebih banyak gugus fungsional akan berionisasi dan meningkatkan muatan negatif (Jacangelo, 1995).

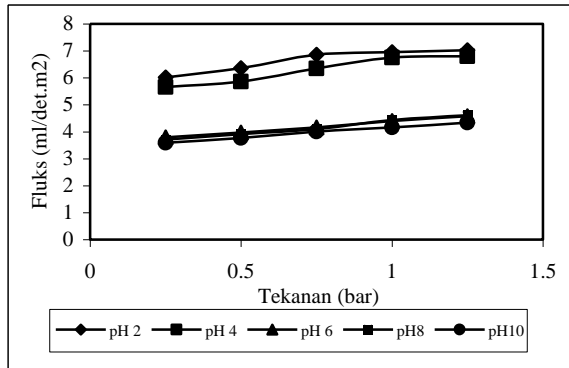
Pada proses *crossflow* fluks yang dihasilkan lebih tinggi dibandingkan pada aliran *dead-end*. (Gambar 6 dan 7). Besarnya harga fluks akibat aliran umpan pada permukaan membran yang lebih turbulen pada sel membran yang beraliran *crossflow*. Keadaan ini disebabkan aliran umpan sejajar dengan permukaan membran yang mengalir secara terus menerus sehingga penumpukan massa pada permukaan atau fouling dapat dieliminasi (Kroner, 1994).



Gambar 6. Pengaruh pH Terhadap Fluks Pada Aliran *Crossflow*

Pada proses *crossflow* fluks tertinggi diperoleh 8,825 mL/det.m² sedangkan pada proses *dead-end* sebesar 7,023 mL/det.m². Pada sistem *dead-end*,

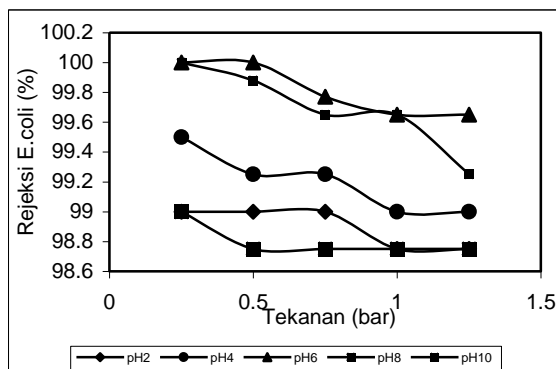
arah aliran umpan tegak lurus permukaan membran sehingga terjadi *fouling*, yaitu pelapisan pada permukaan membran. Pelapisan ini dapat menjadi hambatan bagi permeate untuk menembus membran. (Nasrul, 2002).



Gambar 7. Pengaruh pH Terhadap Fluks Pada Aliran Dead-End

Pengaruh pH Air Baku terhadap Rejeksi E.coli

Hasil rejeksi dari *E. coli* menunjukkan bahwa membran mikrofiltrasi cocok digunakan untuk memisahkan bakteri terutama *E. coli*. Untuk kedua proses baik secara *crossflow* maupun *dead-end* hasilnya menunjukkan bahwa jumlah *E. coli* pada permeat telah sesuai dengan persyaratan air minum (proses pada kondisi pH 6 dan 8). Hubungan antara kondisi pH air baku terhadap rejeksi *E. coli* diperlihatkan pada Gambar 8 dan 9.

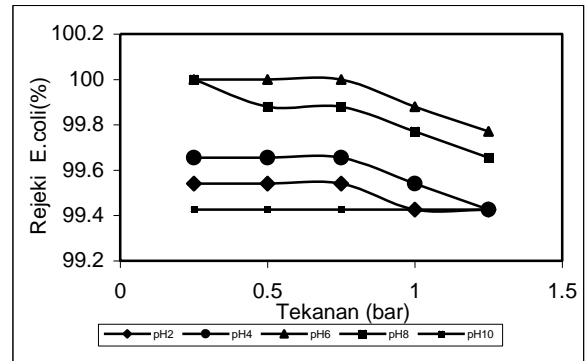


Gambar 8. Pengaruh pH Terhadap Rejeksi *E.coli* Pada Aliran Crossflow

Kedua proses menunjukkan bahwa rejeksi yang paling baik didapat pada range pH 6-8. Hal ini menunjukkan bahwa penyisihan maksimum diperoleh pada air baku alami, dengan pH 6-8. Air baku cocok diolah pada kisaran pH tersebut. (Nasrul, 2002).

Secara umum rejeksi *E. coli* pada proses secara *dead-end* lebih besar dibandingkan pada proses *crossflow*. Terbentuknya penumpukan pada

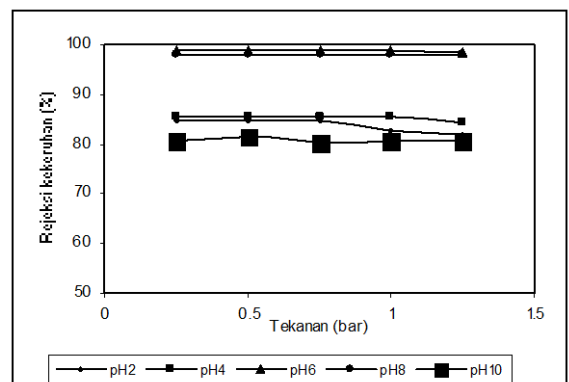
permukaan membran dapat menyebabkan membran lebih selektif dalam melewatkan permeate, sehingga penyisihan pada proses secara *dead-end* lebih besar. Namun rejeksi *E.coli* tertinggi sebesar 100 % terjadi pada proses *dead-end* dan *crossflow*. Hal ini menunjukkan kenyataan bahwa dengan proses *dead end* maupun *crossflow* dapat dilakukan penyisihan *E. coli*.



Gambar 9. Pengaruh pH Terhadap Rejeksi *E.Coli* Pada Aliran Dead-End

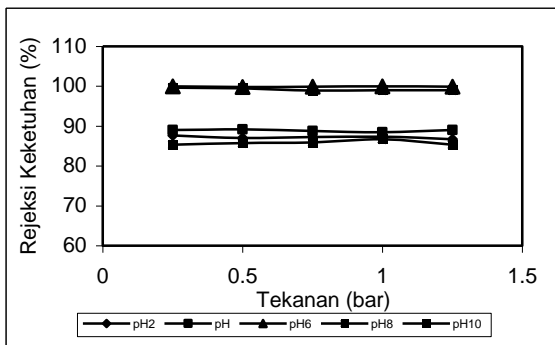
Pengaruh pH Air Baku Terhadap Rejeksi Kekeruhan

Gambar 10 dan 11 memperlihatkan bahwa penyisihan kekeruhan untuk kedua proses yang baik, terjadi pada range pH 6-8. Pada pH tinggi atau pH rendah diperoleh penyisihan yang rendah. Senyawa-senyawa organik mengalami perubahan komposisi, baik pada pH tinggi maupun pH rendah. Pada pH rendah asam-asam organik tidak hanya diubah menjadi molekul-molekul yang lebih kecil, tetapi juga diubah menjadi molekul bermuatan positif, konsekuensinya larutan mengalir melalui membran dengan mudah. (Nasrul, 2002). Meningkatnya pH akan meningkatkan proses ionisasi senyawa organik dan dengan demikian konsentrasi akan bersifat anion (negatif).



Gambar 10. Pengaruh pH Terhadap Rejeksi Kekeruhan Pada Aliran Crossflow

Kecenderungan yang diperlihatkan pada kedua proses rejeksi kekeruhan menunjukkan hal yang sama dengan rejeksi *E.coli*. Pada proses dengan aliran *dead-end* rejeksi yang diperoleh lebih tinggi dibandingkan pada proses dengan aliran *crossflow*. Tingginya konsentrasi larutan umpan menyebabkan polarisasi konsentrasi pada permukaan membran lebih besar. Lapisan ini seolah-olah bertindak sebagai membran kedua yang memberikan tahanan, yang mengakibatkan koefisien rejeksi aliran *dead-end* menjadi lebih rendah. Gejala ini dapat dihindari apabila proses mikrofiltrasi dilakukan dengan aliran *crossflow*.



Gambar 11. Pengaruh pH Terhadap Rejeksi Kekeruhan Pada Aliran *Dead-End*

4. KESIMPULAN

Teknologi membran mikrofiltrasi dapat digunakan untuk mengurangi bakteri *E. coli* dan kekeruhan air baku. Harga koefisien permeabilitas air murni untuk membran mikrofiltrasi selulosa asetat adalah 2,7952 mL/det.m²bar. Pada membran yang beraliran *crossflow* fluks yang dihasilkan lebih besar dari yang beraliran *dead-end*. Sedangkan proses *dead-end* untuk rejeksi *E. coli* maupun kekeruhan memiliki harga relatif lebih tinggi dari proses *crossflow*. Rejeksi dan fluks maksimum yang diperoleh adalah: sebesar 6,325 mL/detik.m² untuk aliran *crossflow* sedangkan aliran *dead-end* sebesar 4,578 mL/detik.m². Rejeksi *E. coli* pada membran aliran *crossflow* maupun *dead end* tertinggi (100%) diperoleh pada tekanan 0,25 bar. Rejeksi kekeruhan sebesar 98,81 diperoleh pada tekanan 0,25 bar, sedangkan rejeksi kekeruhan pada aliran *dead end* sebesar 99,98%.

DAFTAR PUSTAKA

- Crespo, Joao G dan Karl W. Boddeke. (1994). **Membrane Process in Separation and Purification**. Kluwer Academic Publisher, Dordrecht.
- Depkes R.I. (1991). **Petunjuk Pemeriksaan Mikrobiologi Makanan dan Minuman**. Departemen Kesehatan R.I.Jakarta.
- David Paulson dan Kenneth Jondahl. (2000). **Application of Membrane Technology for the Recovery and Reuse of Water**, Osmonic.Inc, <http://www.osmonic.com>. Tanggal di akses 15 Juli 2005.
- Fardiaz. (1992). **Polusi air dan Udara**. Kanisius, Yogyakarta.
- Jacangelo, J., J. de Marco, Douglas M. Owen, dan S.J. Randtke. (1995). **Membrane Filtration for Microbial Removal. An Overview**. AWWA, Journal.
- K. H. Kroner (1994). **Crossflow Filtration of Biological Suspensions in Membran Processes**. In Separation and Purification, Kluwer Academic Publisher, Netherland.
- Mulder, M. (1991). **Basic Principles of Membrane Tecnology**. Kluwer Academic Publisher, Netherland.
- Mulder, M. (1996). **The Use of Membrane Process in Water Purification; Cleaning Technology and Clean Technology**. *Prosiding Seminar Teknik Kimia*, ITB, Bandung.
- Marsono. J. B. (1996). **Removal of Trihalomethane Precusors by Nano-filtration**. A Master of Engineering Thesis, AIT, Bangkok, Thailand.
- Memos. (2000). **Membrane Filtration**. Memos Inc, <http://www.memos.com>. Tanggal diakses 15 Pebruari 2005.
- Nasrul. (2002). **Uji Kemampuan Membrane Selulosa Asetat Sebagai Media Filter Pada Proses Pemurnian Air**. Tesis Program Pascasarjana ITS.
- Osmonic. (2000). **Basic Principles of Microfiltration**. Osmonic.Inc, <http://www.osmonic.com>. Diakses 15 Pebruari 2005.
- Puranik, D.B. dan D.K Charma. (1995). **Microfiltration to Reduce Bacteria in Milk**. The Hindu & Paralogic Corp, <http://www.osmonic.com>. Diakses 15 Juli 2005.
- Totok dan Sutrisno (1991). **Teknologi Penyediaan Air Bersih**. Rineka Cipta, Jakarta.