

Pencucian Secara Kimia Membran Ultrafiltrasi Sistem Aliran Cross Flow Pada Proses Penyaringan Air Terproduksi

Anggi Dwi Saputra, Syarfi, Khairat

Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Riau
Kampus Binawidya Panam Pekanbaru 28293

Email: Matsighiru@yahoo.com

Abstract

Produced water is water that obtained from the process of oil mining. Based on the characteristic that the produced water is classified as to the wastewater, required treatment before being discharged into water bodies. One of the alternative technologies that can be used for produced water treatment is membrane technology. The main challenge in the use of membrane technology is fouling. This research aims to study the trans-membrane pressure on flux, study the effectiveness and efficiency of NaOH and detergent in the regeneration process of ultrafiltration membranes on operation filtration of produced water. The study was conducted using ultrafiltration membranes by feeding produced water. The method used is by varying the operating pressure of 0.5 bar and 1 bar, variations in the concentration of NaOH and Detergents 0.5%, 1% and 1.5%. Filtration process of produced water lasted for 120 minutes and each leaching time is 30 minutes, the highest effectiveness rate of 30.55% obtained by using detergent 1.5%, the highest leaching efficiency based on flux recovery value is 69.66% and 30.55% for removal resistance, the highest flux value after chemical leaching obtained 0.8950 ml/menit.cm² in trans-membrane pressure of 0.6 bar and the concentration of the detergent 1.5%.

Keywords: Cross flow; Detergen; NaOH; Produced water; Ultrafiltration.

Abstrak

Air terproduksi adalah air yang dihasil dari proses pertambangan minyak bumi. Air terproduksi berdasarkan karakteristiknya tergolong dalam limbah cair, diperlukan pengolahan sebelum dibuang ke badan air. Salah satu teknologi alternatif yang dapat digunakan untuk pengolahan air terproduksi adalah teknologi membran. Tantangan utama dalam penggunaan teknologi membran adalah *fouling*. Penelitian ini bertujuan untuk mempelajari tekanan trans-membran terhadap fluks, mempelajari efektifitas dan efisiensi bahan pencuci NaOH dan Detergen dalam proses regenerasi membran ultrafiltrasi pada operasi penyaringan air terproduksi. Penelitian dilakukan menggunakan membran ultrafiltrasi dengan umpan air terproduksi. Metoda yang digunakan adalah dengan memvariasikan tekanan operasi 0,5 bar dan 1 bar, variasi konsentrasi NaOH dan Detergen 0,5%, 1% dan 1,5%. Proses penyaringan air terproduksi berlangsung selama 120 menit dan waktu masing-masing pencucian adalah 30 menit, tingkat efektifitas pencucian tertinggi didapat 30,55% menggunakan detergen 1,5%, efisiensi pencucian tertinggi berdasarkan nilai *flux recovery* 69,66% dan berdasarkan nilai *resistance removal* 30,55%, nilai fluks tertinggi setelah dilakukan pencucian kimia didapat 0,8950 ml/menit.cm² pada tekanan trans-membran 0,6 bar dan konsentrasi bahan kimia pencuci detergen 1,5%.

Kata kunci: Cross flow; Detergen; NaOH; Produced water; Ultrafiltration.

1. Pendahuluan

Air terproduksi adalah air yang didapat dari hasil proses pertambangan minyak bumi yang terangkat ke permukaan. Air terproduksi dari proses pertambangan biasanya mengandung partikel padat yang berasal dari reservoir, *nonemulsified oil*, *stable emulsified oil*, *insoluble solid*, karbon, cat, NH_3 , H_2S , fenol, COD (Chemical Oxygen Demand) dan BOD (Biology Oxygen Demand) serta beberapa logam berat. Berdasarkan karakteristik di atas maka air terproduksi tergolong dalam limbah cair yang dihasilkan dari proses pertambangan migas dan akan berbahaya bila limbah ini langsung dibuang ke badan air.

Teknologi membran adalah salah satu teknologi pengolahan air, dimana membran mampu memisahkan komponen kimia secara spesifik, dapat beroperasi pada suhu rendah, kontinu, hemat energi, prosesnya tidak destruktif terhadap zat-zat yang dipisahkan dan tidak menimbulkan dampak yang negatif terhadap lingkungan sehingga dapat disebut sebagai *clean technology*.

Perkembangan pesat industri menuntut perbaikan teknologi ke arah yang lebih baik lagi, yaitu meminimalkan kelemahan-kelemahan yang dapat menurunkan kinerja membran ultrafiltrasi. Permasalahan umum yang sering terjadi pada membran yakni terjadinya *fouling* karena akumulasi material yang tertahan pada membran.

Fouling diduga dapat direduksi dengan tindakan pencucian menggunakan *chemical agent cleaning* seperti Detergen dan NaOH. Detergen adalah pembersih sintetis campuran berbagai bahan, seperti surfaktan yang merupakan zat aktif permukaan yang mempunyai ujung berbeda yaitu hidrofil (suka air) dan hidrofob (suka lemak). NaOH sangat tepat sebagai zat pembersih untuk silica, koloid

anorganic dan *foulant* dari material organik/biologi [Scott, 1995].

Penelitian ini akan mempelajari tekanan trans-membran terhadap fluks, mempelajari efektifitas dan efisiensi bahan kimia pencuci NaOH dan Detergen dalam proses regenerasi membran ultrafiltrasi pada operasi penyaringan air terproduksi.

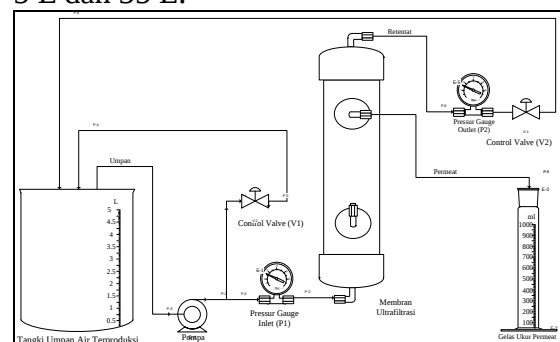
Dalam mengkaji tingkat efektifitas NaOH dan Detergen untuk proses pencucian membran pada operasi penyaringan air terproduksi. Ada dua parameter yang perlu diamati sebagai metoda pengendali *fouling*, yakni tekanan operasi trans-membran dan konsentrasi bahan kimia pencuci.

2. Metode Penelitian

Bahan-bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah :

- Air terproduksi (air formasi) yang berasal dari sumur minyak (*reservoir*) lapangan duri setelah dilakukan proses pemisahan antara minyak dan air di CGS-1 (Central Gathering Station-1).
- Bahan kimia NaOH dan Detergen sebagai *chemical cleaning agent*.
- Aquades sebagai bahan pembilas.

Peralatan yang digunakan adalah satu unit modul membran ultrafiltrasi, pompa jenis diafragma, timbangan analitik, *stopwatch*, gelas ukur 100 ml dan 1000 ml, gelas *beaker*, ember penampung, derigen ukuran 5 L dan 35 L.



Gambar 1. Diagram alir penyaringan air terproduksi sistem aliran *cross flow*

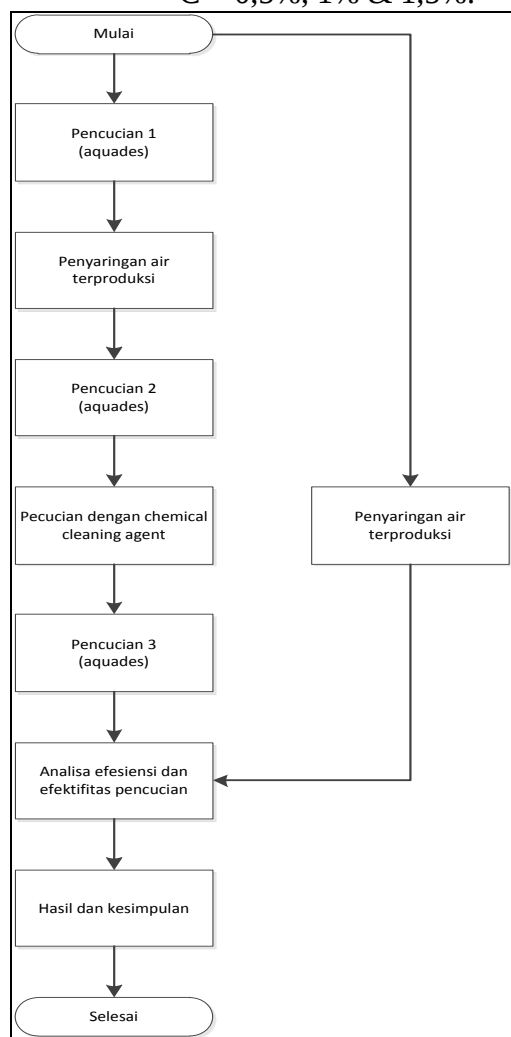
Variabel penelitian ini terdiri atas variabel tetap dan variabel tidak tetap.

Variabel tetap :

- Waktu untuk pembilasan dengan aquades, $t = 30$ menit.
- Waktu untuk pemisahan air terproduksi, $t = 120$ menit.
- Waktu untuk pencucian menggunakan *Chemical cleaning agent* (NaOH dan Detergen), $t = 30$ menit.

Variabel tidak tetap :

- Perlakuan pada air terproduksi dengan memvariasikan tekanan pompa:
 $P = 0,5$ bar & 1 bar.
- Perlakuan pada *chemical cleaning agent* dengan memvariasikan konsentrasi:
 $C = 0,5\%$, 1% & $1,5\%$.



Gambar 2. Flow chart prosedur penelitian

Prosedur Penelitian.

Pengukuran volume aquades pada pencucian awal di aliran permeat per 5 menit selama 30 menit pada tekanan $0,5$ bar. Hasil hitungan fluks dikatakan sebagai J_{wi} . Selanjutnya, pengukuran volume hasil pemisahan air terproduksi di aliran permeat per 5 menit selama 120 menit pada tekanan $0,5$ bar. Pada tahap ini fluks ditandai sebagai J_f . Kemudian dilakukan pengukuran volume pembilasan dengan aquades, dialiran permeat per 5 menit selama 30 menit pada tekanan $0,5$ bar. Hasil hitungan fluks dikatakan sebagai J_{ww} .

Pengukuran volume pencucian kimia menggunakan NaOH $0,5\%$, pada tahap ini pengukuran volume di aliran permeat per 5 menit selama 30 menit pada tekanan $0,5$ bar. Fluks hasil hitungan disebut sebagai J_{cc} . Kemudian dilakukan pengukuran volume untuk pembilasan akhir dengan aquades, pengukuran ini dilakukan selama 30 menit yang diukur per 5 menit, Hitungan fluks pada tahap ini ditandai sebagai J_{wc} .

Tahapan tersebut dilakukan sama untuk variabel lainnya dan bahan kimia pencuci lainnya seperti detergen. Kemudian dilanjutkan dengan pengukuran volume pemisahan air terproduksi tanpa perlakuan pencucian dengan aquades, pencucian dengan bahan kimia maupun pembilasan akhir dengan aquades. Prosedur penelitian tersaji pada Gambar 2.

3. Analisa Hasil

Analisa yang dilakukan untuk pencucian secara kimia adalah dengan menghitung persen *resistant removal* (RR%) dan *flux recovery* (FR%) (efisiensi pencucian) pada berbagai kondisi konsentrasi *chemical cleaning agent* terhadap masing-masing kondisi operasi filtrasi.

Rumus yang digunakan untuk menghitung persen *resistant removal* dan persen *flux*

recovery (Kazemimoghadam M dan Mohammadi T, 2006) sebagai berikut :

$$RR (\%) = [(R_f - R_c)/R_f] \times 1001$$

$$FR (\%) = [(J_{wc} - J_{ww})/(J_{wi} - J_{ww})] \times 100$$

Rumus yang digunakan untuk menghitung fluks (Faibish RS dan Cohen Y, 2000) adalah sebagai berikut:

$$J_t = Q_f/A$$

Rumus yang digunakan untuk menghitung resistan membran mengikuti hukum darcy (Miscolia D A, 2000) yakni :

$$R_m = \Delta P/\mu.J$$

Tekanan Trans-membran dihitung dengan rumus :

$$P_{tm} = [(P_i + P_o)/2] - P_p$$

Untuk menghitung efektivitas pencucian dapat menggunakan rumus berikut (Scot JB, 2006) :

$$\text{Cleaning efectivness (\%)} = (1 - \text{avg}(\text{uncleaned fluks}/\text{cleaned fluks})) \times 100$$

4. Hasil dan pembahasan

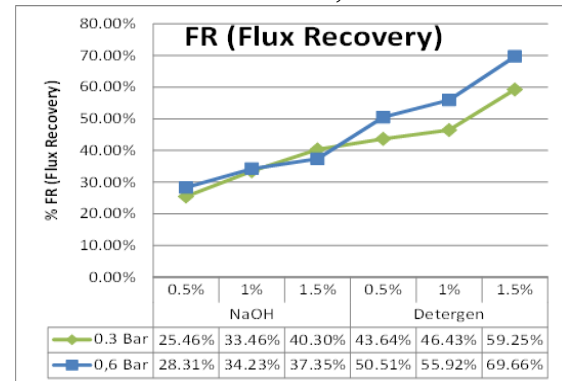
Efisiensi Pencucian.

Efisiensi pencucian dindikasikan oleh parameter *Fluks Recovery* (FR) dan *Resistant Removal* (RR). Kedua indikator ini oleh Mohamadi *et all* [2002] dan Kazemimoghadam dan Mohammadi [2007] telah dijadikan sebagai tolok ukur guna melihat efisiensi pencucian.

Parameter tersebut mengindikasikan sejauh mana proses pencucian dari hasil penyaringan air terproduksi mampu meningkatkan kembali kinerja membran baik setelah pembentukan *fouling* maupun setelah pencucian membran.

Tekanan trans-membran 0,3 bar dan 0,6 bar pada gambar 3 dan gambar 4 didapat dari hasil perhitungan antara nilai tekanan operasi membran P1 ditambah tekanan operasi yang didapat pada P2 lalu dibagi dua. Pada tekanan operasi membran (P1) 0,5 bar didapat nilai tekanan operasi P2

sebesar 0,1 bar maka dari hasil perhitungan didapat tekanan trans-membran sebesar 0,3 bar. Pada tekanan operasi membran (P1) 1 bar didapat nilai tekanan operasi P2 sebesar 0,2 bar maka dari hasil perhitungan didapat tekanan trans-membran sebesar 0,6 bar.



Gambar 3. Nilai FR Pada Masing Masing Konsentrasi Bahan Pencuci dan Perubahan Tekanan Trans-Membran Dalam Proses Penyaringan Air Terproduksi.

Flux Recovery (FR) tertinggi mencapai 69,66% untuk pencucian menggunakan detergen dengan konsentrasi 1,5% pada tekanan trans-membran 0,6 bar, sedangkan nilai FR terendah 25,46% untuk pencucian dengan menggunakan NaOH 0,5% pada tekanan trans-membran 0,3 bar.

Dari gambar 3 terlihat bahwa persentase nilai FR cenderung lebih tinggi pada tekanan trans-membran 0,6 bar dibandingkan dengan tekanan trans-membran 0,3 bar kemudian kecenderungan naiknya nilai presentase FR didapat ketika konsentrasi bahan pencuci kimia dinaikkan dari 0,5% hingga 1,5%. Data tersebut menunjukkan bahwa efisiensi pencucian sangat dipengaruhi oleh tekanan trans-membran, konsentrasi bahan pencuci dan jenis bahan pencuci yang digunakan.

Pada gambar 3 untuk konsentrasi NaOH 1,5% menunjukkan nilai presentase FR menurun ketika tekanan trans-membran naik, sedangkan pada konsentrasi NaOH 0,5% dan 1% mengindikasikan kenaikan presentase FR saat tekanan trans-membran

dinaikkan. Hal ini menunjukkan bahwa NaOH sebagai *chemical cleaning agent* yang kurang stabil bila dibandingkan dengan detergen yang mengindikasikan kestabilan perolehan nilai presentase FR yang terus naik ketika konsentrasi dan tekanan trans-membran juga dinaikkan.

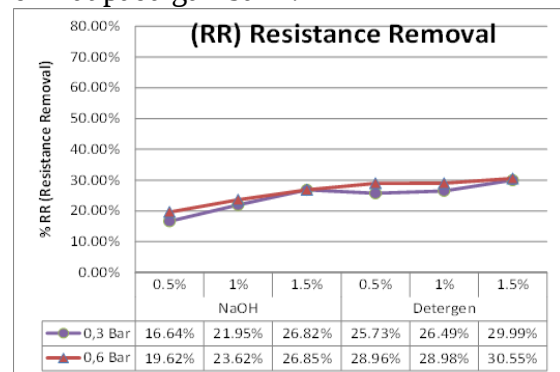
Suatu pemahaman awal bahwa bahan pencuci jenis detergen terlihat lebih efisien dalam peningkatan nilai presentase FR dibandingkan jika menggunakan NaOH. Perbandingan antara NaOH dan Detergen dalam proses pencucian membran setelah terbentuknya *fouling* mengindikasikan bahwa NaOH adalah *chemical cleaning agent* yang lebih lemah dan tidak stabil bila dibandingkan dengan detergen yang mengandung larutan penstabil emulsi yang disebut sebagai *surfactant*.

Detergen merupakan larutan bipolar yang artinya mempunyai dua kutub yang berbeda, yakni hidrofolik dan hidrofobik, secara umum rantai hidrofolik adalah ikatan yang mampu mengikat air dengan baik sedangkan rantai hidrofobik mampu mengikat minyak dengan baik.

Fouling yang terbentuk pada permukaan membran akibat kandungan minyak yang terdapat pada air terproduksi akan berikatan dengan rantai hidrofobik yang terdapat pada detergen. Oleh karena itu, pengembalian nilai presentasi *flux* ke arah permeat setelah proses pencucian kimia (*back wash*) pada membran lebih tinggi dibandingkan menggunakan NaOH. Semakin tingginya kandungan *surfactant* yang terlarut didalam larutan pelarut akan menyebabkan nilai persentase *flux recovery* semakin tinggi juga.

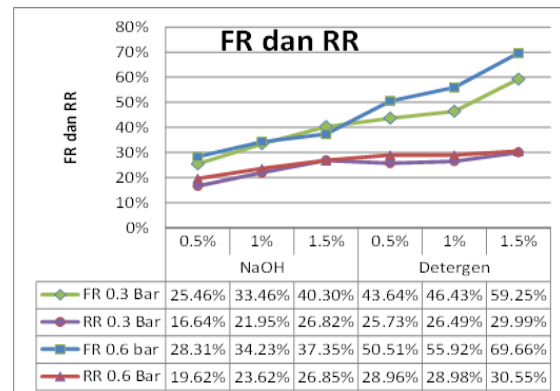
Nilai *Resistant Removal* (RR) yang didapat dari penelitian ini berada dibawah 50% dengan nilai RR tertinggi mencapai 30,55% untuk pencucian menggunakan detergen 1,5% pada tekanan trans-membran 0,6 bar. Selanjutnya nilai RR terendah 16,64% untuk pencucian

menggunakan NaOH 0,5% pada tekanan trans-membran 0,3 bar. Penjelasan mengenai *resistant removal* (RR) dapat dilihat pada gambar 4.



Gambar 4. Nilai RR Pada Masing Masing Konsentrasi Bahan Pencuci dan Perubahan Tekanan Trans-Membran Dalam Proses Penyaringan Air Terproduksi.

Kenaikan tekanan trans-membran dan konsentrasi berbanding lurus dengan nilai RR yang didapat. Kemampuan bahan pencuci detergen pada konsentrasi 1,5% dalam mengikat *foulant* dengan daya dorong tekanan trans-membran 0,6 bar telah mampu menaikkan nilai presentase RR.

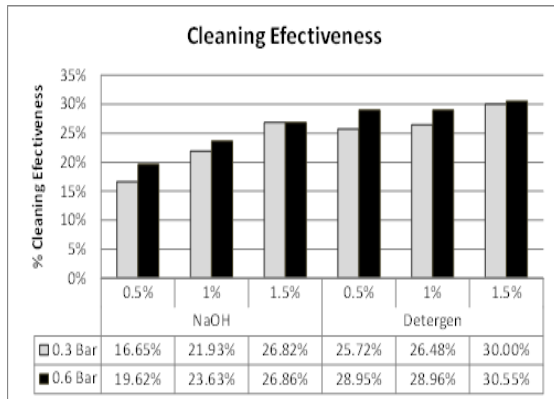


Gambar 5. Pengaruh Kenaikan Tekanan dan Konsentrasi Terhadap Nilai FR dan RR.

Dari data FR dan RR masing masing bahan pencuci diperoleh efisiensi pencucian rata-rata berbanding lurus dengan perubahan tekanan trans-membran. Secara rata rata nilai FR dan RR cenderung lebih tinggi dengan

meningkatnya tekanan trans-membran. Hal ini disebabkan daya dorong tekanan yang timbul dari pompa menyebabkan larutan mempunyai kemampuan melewati membran sebagai permeat. Hal ini bisa dilihat pada gambar 5.

Efektivitas Pencucian.



Gambar 6. Efektifitas Pencucian Bahan Kimia Terhadap Variasi Konsentrasi dan Tekanan Trans-Membran.

Pada gambar 6 terlihat bahwa tingkat efektifitas pencucian dipengaruhi oleh konsentrasi dan tekanan trans-membran. Tingkat konsentrasi bahan kimia pencuci yang lebih tinggi akan memvariasikan nilai persentase efektifitas pencucian ke arah yang lebih baik. Perubahan tekanan operasi trans-membran juga menghasilkan nilai presentase yang lebih tinggi. Suatu reaksi kimia terjadi antara *chemical cleaning agent* dengan material yang terdeposit pada permukaan membran.

Detergen pada konsentrasi 1,5% dengan tekanan trans-membran 0,6 bar merupakan tingkat efektifitas pencucian tertinggi pada operasi membran ini, yakni mencapai 30,55%. Tingkat efektifitas pencucian terendah 16,65% didapat pada bahan kimia pencuci NaOH dengan konsentrasi 0,5% dan tekanan trans-membran 0,3 bar. Hal ini dianalisis karena kemampuan *surfactant* yang terkandung didalam detergen terlihat lebih baik bila dibandingkan NaOH yang bersifat basa

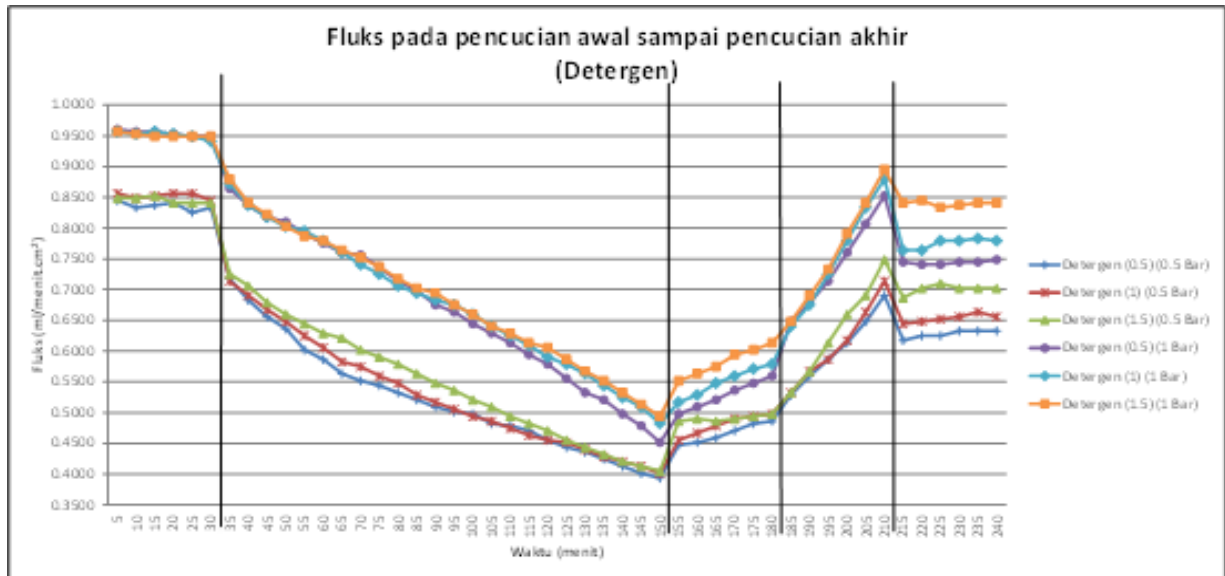
dalam mengurangi *fouling* yang terbentuk pada permukaan membran.

Namun demikian, NaOH dengan konsentrasi 1,5% dibandingkan dengan detergen 0,5% pada tekanan trans membran yang sama-sama 0,3 bar masih lebih baik tingkat efektifitasnya. Hal ini juga menunjukkan bahwa kemampuan NaOH akan meningkat dengan konsentrasi yang lebih tinggi dibandingkan dengan konsentrasi detergen yang lebih rendah. Jika dalam penggunaan konsentrasi dan tekanan trans-membran yang sama, detergen masih lebih baik dibandingkan dengan NaOH, hal ini dikarenakan detergen mengandung surfaktan yang memiliki sifat bipolar, sedangkan NaOH adalah zat pembersih tanpa surfaktan yang kurang stabil dalam proses pencucian karena hanya mengandung garam alkali.

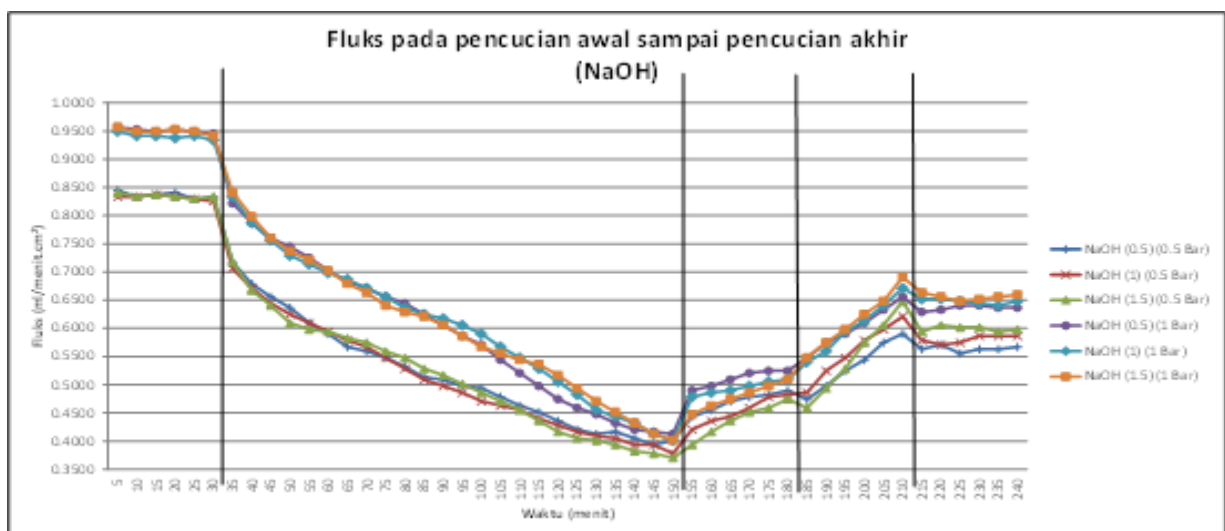
Fenomema Fluks Pada Operasi Membran.

Fenomena fluks pada operasi membran dalam proses penyaringan air terproduksi dapat dilihat pada gambar 7 dan gambar 8. Proses ini menggambarkan penurunan fluks awal terjadi saat proses penyaringan air terproduksi pada menit ke-35 dan naik kembali setelah dilakukan pencucian menggunakan bahan kimia Detergen dan NaOH pada menit ke-155.

Jika dilihat berdasarkan perbedaan bahan pencuci, detergen jelas menunjukkan pengembalian nilai fluks setelah terjadinya *fouling* dengan lebih baik dibandingkan NaOH. Nilai fluks tertinggi setelah dilakukan pencucian kimia didapat 0,8950 ml/menit.cm² pada tekanan trans-membran 0,6 bar dan bahan pencuci kimia detergen 1,5%.



Gambar 7. Fenomena Fluks Pada Proses Filtrasi Awal Sampai Pencucian Akhir Menggunakan Detergen



Gambar 8. Fenomena Fluks Pada Proses Filtrasi Awal Sampai Pencucian Akhir Menggunakan NaOH

Tekanan operasi dari masing-masing bahan pencuci dalam mengembalikan nilai fluks agar lebih optimal juga sangat mempengaruhi. Tekanan trans-membran 0,6 bar menunjukkan kenaikan nilai fluks yang lebih baik setelah dilakukan pencucian oleh masing-masing bahan pencuci bila dibandingkan dengan tekanan trans-membran 0,3 bar.

5. Kesimpulan dan Saran

Kesimpulan.

Dari penelitian yang telah dilakukan, didapat beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Efektifitas pencucian tertinggi yakni 30,55% dengan menggunakan bahan kimia pencuci detergen 1,5% dan tekanan trans-membran 0,6 bar.
2. Efisiensi pencucian tertinggi berdasarkan nilai *flux recovery* yang didapat 69,66% dan nilai *Resistance*

Removal tertinggi didapat 30,55% dengan menggunakan bahan kimia pencuci detergen 1,5% dan tekanan trans-membran 0,6 bar.

3. Nilai *flux recovery* tertinggi yang didapat ketika menggunakan bahan kimia pencuci NaOH adalah 40,30% pada konsentrasi 1,5 bar dan tekanan trans-membran 0,3 bar.
4. Bahan kimia pencuci NaOH dianggap tidak stabil dalam menaikkan nilai *flux recovery* ketika tekanan trans-membran dan konsentrasinya dinaikkan.
5. Jenis bahan pencuci dan tekanan operasi membran sangat mempengaruhi nilai fluks, dengan kondisi lebih baik ketika menggunakan tekanan trans-membran 0,6 bar dan jenis bahan kimia pencuci detergen.

Saran.

Pada penelitian lanjutan disarankan untuk mempelajari pengaruh larutan pencuci yang lain sesuai dengan karakteristik membran dan air terproduksi, sehingga didapat perbandingan larutan pencuci lainnya dalam menentukan tingkat efektifitas pencucian membran dalam proses penyaringan air terproduksi. Selanjutnya, perlu dilakukan pengecekan kualitas air terproduksi yang telah dilakukan penyaringan menggunakan membran ultrafiltrasi dengan membandingkannya setelah dilakukan pencucian menggunakan bahan kimia tertentu.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Assomadi, A.F, dan Purwanti, I.F., 2007, Pengolahan Air Terproduksi Menggunakan Sequencing Batch Reactor (SBR), Penelitian, ITS.
- [2] Benny, A., 2011, Pencucian Kimia Membran Ultrafiltrasi Sistem Aliran Cross Flow Pada Proses Pengolahan Lindi Sampah TPA Muara Fajar Pekanbaru, Penelitian, UNRI.
- [3] Cheryan, M., 1986, *Ultrafiltration and Microfiltration handbook*, Technomic Publishing, Lancaster, PA, p120-154.
- [4] Costa, A.R., 2006, Mechanisms of Colloidal Natural Organic Matter Fouling in Ultrafiltration, *Journal Membrane Science* 281, 716-725.
- [5] Faibish, R.S., dan Cohen, Y., 2000, Fouling Resistance Ceramic Supported Polymer membrans for Ultrafiltration of Oil in Water Microemulsions, *Journal of Membran Science*(185), 129-143.
- [6] Harjanto, T., 2009, Studi Pengolahan Limbah Radioaktif Cair dengan Teknologi Membran, Jurnal Teknologi Membran, vol.13, No.4, ISSN: 0853-9103, PPPN-BATAN.
- [7] Humphrey, J.L., dan Keller, G.E., 1997, Separation Process Technology, McGraw-Hill Publisher, New York.
- [8] Hutapea, F.P., 2012, Pemanfaatan Limbah Kulit Nenas Untuk Produksi Bioetano Melalui Sakarifikasi Fermentasi Serentak Dengan Enzim Selulase, Penelitian, UNRI.
- [9] Karamah, E.F., dan Lubis, A.O., 2010, Pralakuan Koagulasi Dalam Proses Pengolahan Air Dengan Membran: Pengaruh Waktu Pengadukan Pelan Koagulan Aluminium Sulfat Terhadap Kinerja Membran, Penelitian, UI.
- [10] Kazemimoghadam, M. dan Mohammadi, T., 2006, Chemical Cleaning of Ultrafiltration Membran in Milk Industry, *Desalination* 204, 213-218.
- [11] Lim, A.L., dan Bai, R., 2003, Membrane fouling and cleaning in microfiltration of activated sludge wastewater, *Journal of Membrane Science* 216, 279-290.
- [12] Masciola, D.A., 2000, Development of a Membrane Resistance Based Modeling Framework for Comparison of Ultrafiltration Processes, *Thesis*, West Virginia.
- [13] Mohammadi, T., Madaeni, S.S., dan Moghadam, M.K., 2002, Investigation

of membrane fouling, *Desalination* 153, 155-160.

- [14]Mulder, M., 1996, *Basic Principles of Membrane Technology*, Kluwer Academic Publishers, Netherland.
- [15]Scott, J.B., 2006, *Oil Removal for Produced Water Treatment and Micellar Cleaning of Ultrafiltration Membrane*, *Thesis*, Texas A&M University.
- [16]Scott, K., 1995, *Handbook of Industrial Membranes*, edisi ke-1, Elsevier Advanced Technology, Oxford, 78-528.
- [17]Weast, R.C., 1976, *Handbook of Chemistry and Physics*, CRC Press, Cleveland, Ohio, F-40.
- [18]Zulkarnain, T., 2000, *Pengolahan Limbah Cair Emulsi Minyak dengan Teknologi Membran Ultrafiltrasi*, *Tesis*, ITB.