

# Regenerasi secara Kimia Membran Ultrafiltrasi Sistem Aliran *Cross Flow* pada Proses Penyaringan Air Terproduksi

Syarfi dan Khairat

Laboratorium Pengendalian, Pencegahan, Pencemaran Lingkungan  
Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Riau  
Kampus Binawidya Panam Pekanbaru 28293  
E-mail : syarfidaud@gmail.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.cm<sup>2</sup> in trans-membrane pressure of 0.6 bar and the concentration of the detergent 1.5%.

Keywords: *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<sub>3</sub>, H<sub>2</sub>S, fenol, COD, dan BOD 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 sintesis campuran berbagai bahan, seperti surfaktan yang merupakan zat aktif permukaan yang mempunyai ujung berbeda yaitu hidrofил (suka air) dan hidrofob (suka lemak). NaOH sangat tepat sebagai zat pembersih untuk silika, 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.

Penelitian tingkat efektifitas NaOH dan Detergen untuk proses pencucian membran pada operasi penyaringan air

terproduksi. Ada dua variable dipelajari, yakni tekanan operasi trans-membran dan konsentrasi bahan kimia pencuci.

**2. Bahan dan Metode**

- 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.

$P = 0,5 \text{ bar} \ \& \ 1 \text{ bar}$ .

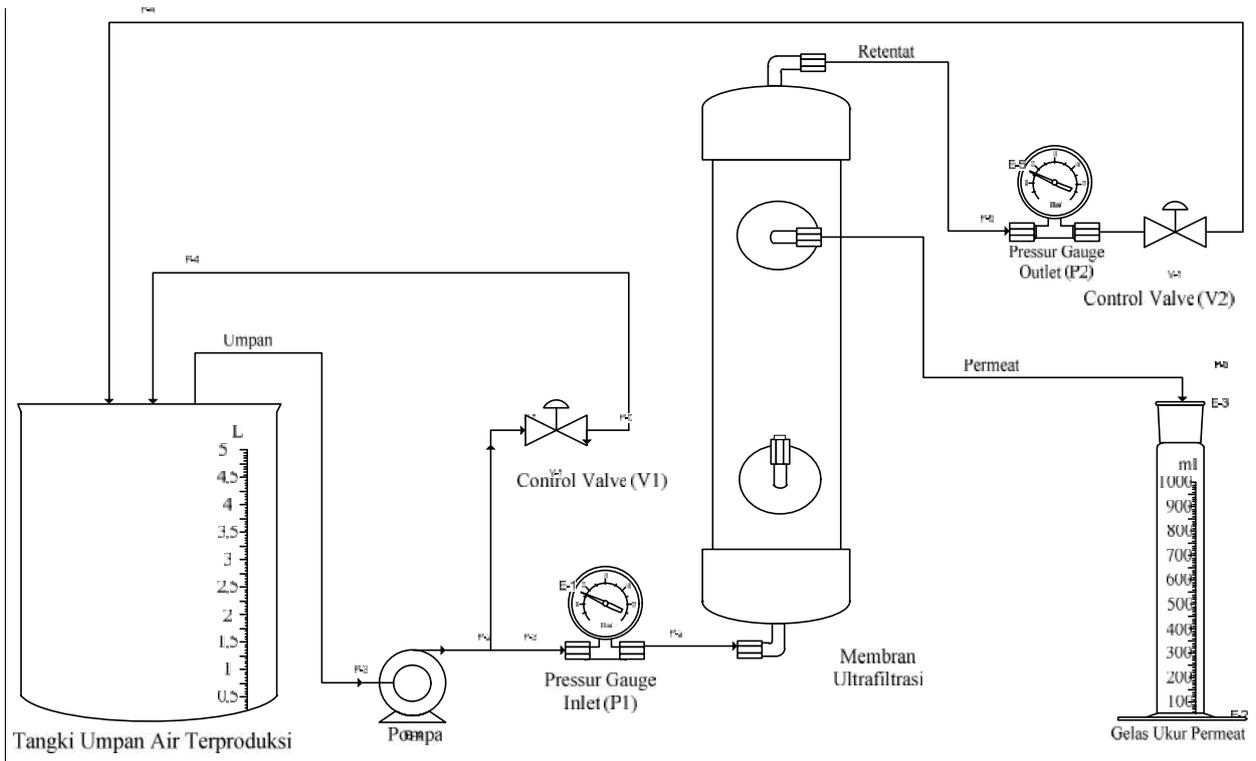
- Perlakuan pada *chemical cleaning agent* dengan memvariasikan konsentrasi:

$C = 0,5\%, \ 1\% \ \& \ 1,5\%$ .

Diagram alir penelitian seperti pada Gambar 2.

2.1. 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



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

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. Diagram alir penyaringan air terproduksi seperti Gambar 1.

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.

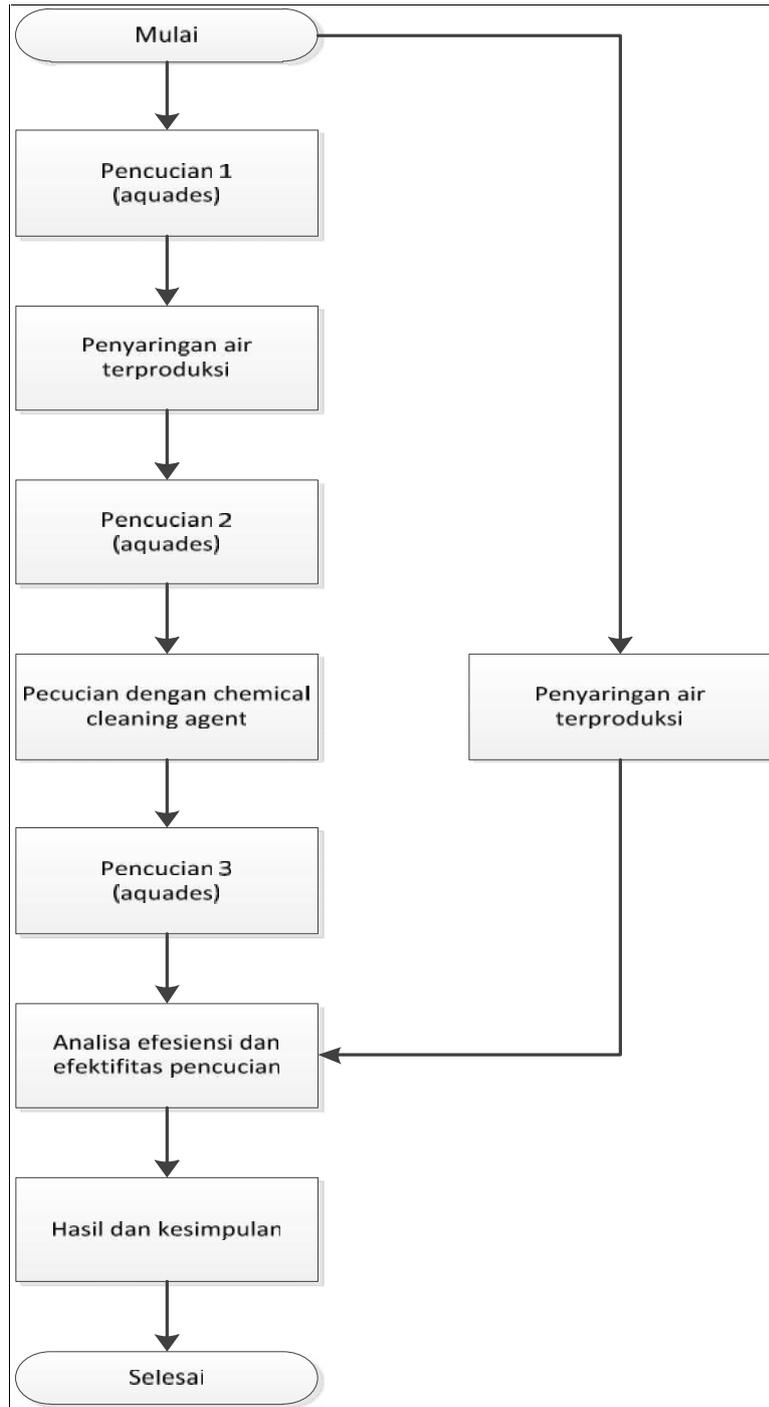
Variabel tidak tetap :

- Perlakuan pada air terproduksi dengan memvariasikan tekanan pompa:

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



**Gambar 2.** Flow Chart Prosedur Penelitian

dengan aquades, pencucian dengan bahan kimia maupun pembilasan akhir dengan aquades. Prosedur penelitian tersaji pada Gambar 2.

## 2.2. 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 :

$$RR (\%) = [(R_f - R_c) / R_f] \times 100$$

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

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 :

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

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) :

$$\text{Cleaning efectivness (\%)} =$$

$$(1 - \text{avg}(\text{uncleaned fluks} / \text{cleaned fluks}) * 100$$

### 3. Hasil dan Pembahasan

#### 3.1. Efisiensi Pencucian

Efisiensi pencucian dindikasikan oleh parameter *Fluks Recovery* (FR) dan *Resistant Removal* (RR). Kedua indikator ini oleh Mohamadi *et al* [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. Nilai FR seperti pada Gambar 3.

*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.

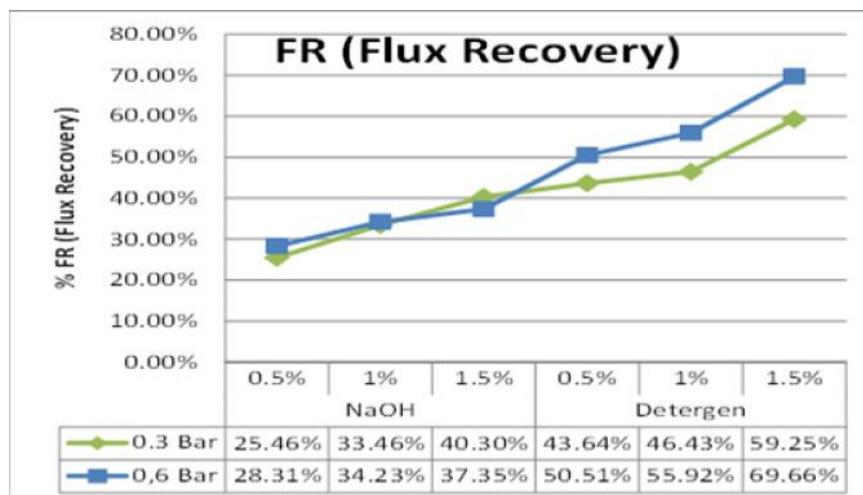
Gambar 3 terlihat bahwa persentase nilai FR cenderung lebih tinggi pada tekanan trans-membran 0,6 bar dibandingkan dengan tekanan trans-membran 0,3 bar kemudian kecenderungan naiknya nilai presentase FR didapat ketika konsentrasi bahan pencuci kimia dinaikkan dari 0,5% hingga 1,5%. Data tersebut menunjukkan 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% mengindikasi 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



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

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.

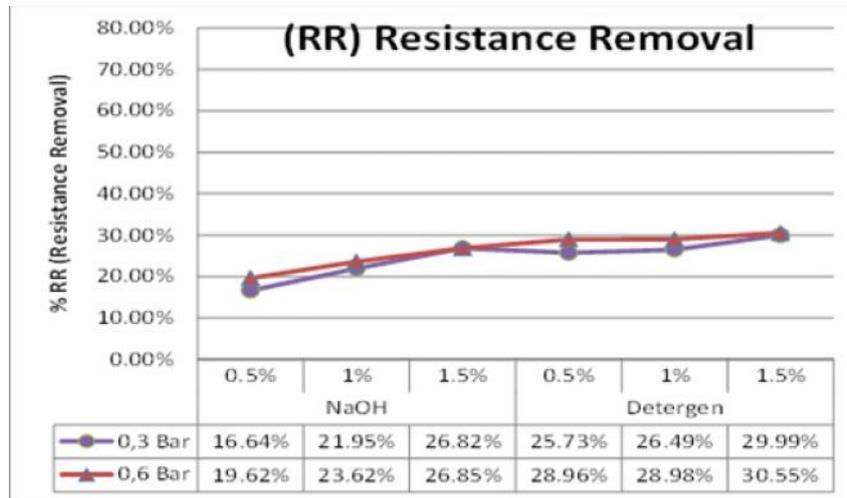
Kenaikan tekanan trans-membran dan konsentrasi berbanding lurus dengan nilai RR yang didapat. Kemampuan bahan pencuci detergen pada konsentrasi 1,5% dalam mengikat *foulant* dengan daya dorong tekanan trans-membran 0,6 bar telah mampu menaikkan nilai

presentase RR.

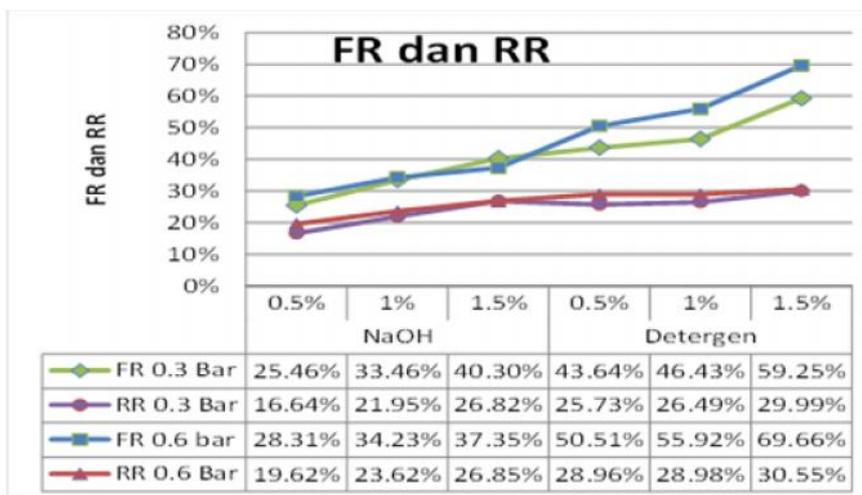
Dari data FR dan RR masing masing bahan pencuci diperoleh efisiensi pencucian rata-rata berbanding lurus dengan perubahan tekanan trans-membran. Secara rata rata nilai FR dan RR cenderung leih tinggi dengan meningkatnya tekanan trans-membran. Hal ini disebabkan daya dorong tekanan yang timbul dari pompa menyebabkan larutan mempunyai kemampuan melewati membran sebagai permeat. Hal ini bisa dilihat pada Gambar 5.

3.2. Efektivitas pencucian

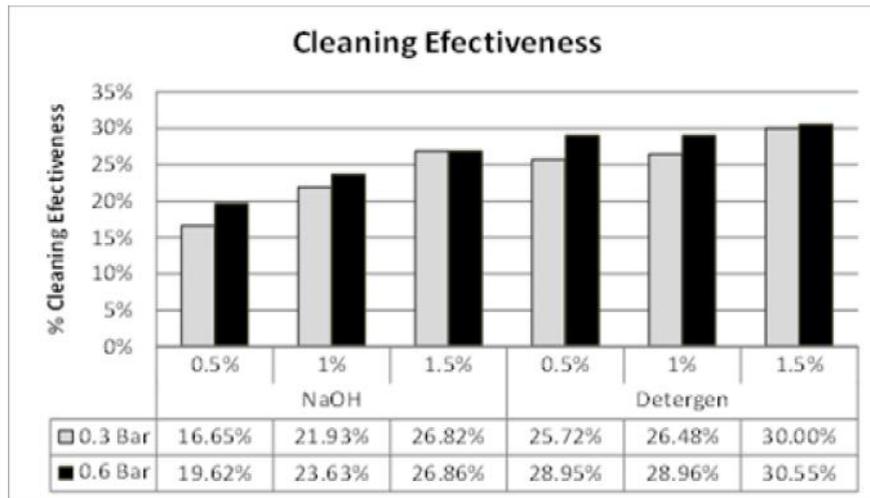
Pada Gambar 6 terlihat bahwa tingkat efektifitas pencucian dipengaruhi oleh konsentrasi dan tekanan trans-membran. Tingkat konsentrasi bahan kimia pencuci yang lebih tinggi akan memvariasikan nilai persentase efektifitas pencucian ke arah yang lebih baik. Perubahan tekanan operasi trans-



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



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



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

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.

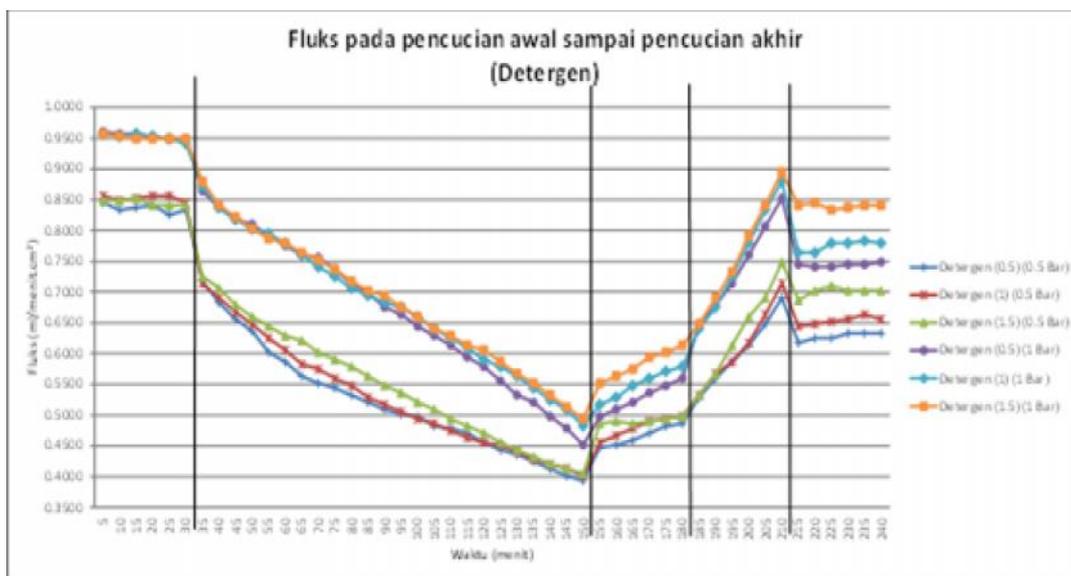
Namun demikian, NaOH dengan konsentrasi 1,5% dibandingkan dengan detergen 0,5% pada tekanan trans membran yang sama-sama 0,3 bar masih lebih baik tingkat efektifitasnya. Hal ini juga menunjukkan bahwa kemampuan NaOH akan meningkat dengan konsentrasi

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.

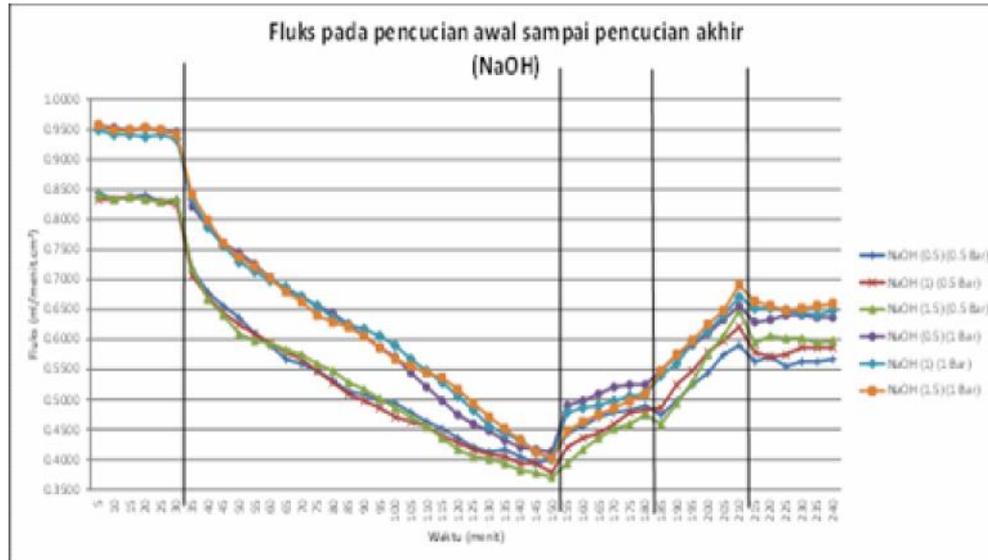
3.3. Fenomena fluks pada operasi membran

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.



**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

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.cm<sup>2</sup> pada tekanan trans-membran 0,6 bar dan bahan pencuci kimia detergen 1,5%.

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.

#### 4. Kesimpulan

Dari penelitian yang telah dilakukan, didapat kesimpulan bahwa efektifitas pencucian tertinggi yakni 30,55% dengan menggunakan bahan kimia pencuci detergen 1,5% dan tekanan trans-membran 0,6 bar. 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. 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. Bahan kimia pencuci NaOH dianggap tidak stabil dalam menaikkan nilai *flux recovery* ketika tekanan trans-membran dan konsentrasinya dinaikkan.

#### Daftar Pustaka

- 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.
- Kazemimoghadam, M. dan Mohammadi, T., 2006, Chemical Cleaning of Ultrafiltration Membran in Milk Industry, *Desalination* 204, 213-218.
- Masciola, D.A., 2000, Development of a Membrane Resistance Based Modeling Framework for Comparison of Ultrafiltration Processes, Thesis, West Virginia.
- Mohammadi, T., Madaeni, S.S., dan Moghadam, M.K., 2002, Investigation of membrane fouling, *Desalination* 153, 155-160.
- Mulder, M., 1996, Basic Principles of Membrane Technology, Kluwer Academic Publishers, Netherland.
- Scott, J.B., 2006, Oil Removal for Produced Water Treatment and Micellar Cleaning of Ultrafiltration Membrane, Thesis, Texas A&M University.
- Scott, K., 1995, Handbook of Industrial Membranes, edisi ke-1, Elsevier Advanced Technology, Oxford, 78-528.