



Penurunan Zat Organik dan Kekeruhan Menggunakan Teknologi Membran Ultrafiltrasi dengan Sistem Aliran *Dead-End* (Studi Kasus : Waduk Saguling, Padalarang)

Suprihanto Notodarmojo & Anne Deniva

Departemen Teknik Lingkungan ITB, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
Jl. Ganesha No. 10 Bandung – 40132

Abstrak. Telah dilakukan percobaan skala laboratorium untuk mengkaji kemungkinan aplikasi teknologi membran ultrafiltrasi untuk mengolah air Waduk Saguling. Parameter utama dalam penelitian ini adalah fluks dan kandungan zat organik serta kekeruhan. Membran yang digunakan adalah membran selulosa asetat (CA) yang dibuat sendiri dengan komposisi selulosa asetat 11% (CA-11), 13%(CA-13), 15%(CA-15). Dari hasil analisis karakteristik air baku Waduk Saguling terlihat bahwa Warna, Kekeruhan, dan Zat Organik merupakan parameter yang harus diolah agar memenuhi standar baku mutu yang diperbolehkan. Dilakukan juga pengolahan pendahuluan dengan menggunakan Poly Alummunium Chloride (PAC) sebagai koagulan. Komposisi membran yang memiliki rejeksi zat organik dan Total Suspended Solid (TSS) paling besar dan memenuhi standar baku mutu air minum akan dipergunakan dalam pengolahan air minum yaitu CA-15. Dari hasil penelitian, permeabilitas air Waduk Saguling dari membran CA-15 mencapai 5-12 L/m².jam.bar. Rejeksi zat organik pada air baku waduk saguling mencapai 90 % , TSS mencapai 90-100 % , TDS 80 % dan warna rejeksi 88 %. Membran Ultrafiltrasi dapat digunakan karena mempunyai prospek yang baik, sedangkan pengaruh pretreatment adalah untuk meningkatkan kualitas dan fluks dari permeat. Disarankan untuk penelitian lebih lanjut efek fouling dan scaling dengan waktu operasi yang lebih lama

Kata kunci: membran; ultrafiltrasi; fluks; kandungan zat organik.

Abstract. A laboratory scale experiment to study the applicability of ultrafiltration membrane technology to treat the water of Saguling Reservoir has been done. The main parameters in this study are flux, organic content, and turbidity. The membranes used are cellulose acetate based membrane, composed of 11, 13, 15 percent cellulose acetate respectively. Chemical analysis of Saguling Reservoir water shows that, color, organic content, and turbidity are the parameters exceeding the standard. In this study, treated water by using Poly Aluminium Chloride (PAC) as feeding solution was also been used. The results shows that CA-15, membrane has 15 % content of cellulose acetate, performed best. The permeability of the membrane was 5-12 l/m².hr.bar, and rejects up to 90 % of organic content, 90-100% rejection of Total Suspended Solid and 90% turbidity.

Keywords: *membranes; ultrafiltration; flux; organic content.*

1 Pendahuluan

Kawasan cekungan Bandung merupakan kawasan yang berkembang pesat. Sebagai salah satu dan konsekuensinya adalah peningkatan kebutuhan air minum. Salah satu sumber air yang paling potensial untuk memberi pasokan air baku air minum adalah Waduk Saguling. Masalah utama dalam pemanfaatan air Waduk Saguling seperti umumnya sumber air permukaan adalah kualitasnya yang kurang baik dan cenderung menurun dari waktu ke waktu akibat pencemaran. Penurunan kualitas terutama terjadi pada musim kemarau, dimana efek pengenceran terhadap pencemaran kurang berarti. Parameter kualitas yang melebihi baku mutu kiranya adalah zat organik, kekeruhan dan senyawa aktif permukaan (surfaktan).

Pengolahan konvensional yang berbasis pada teknologi konvensional seperti koagulasi-flokulasi, sedimentasi dan filtrasi sering kali kurang efektif atau gagal untuk mengolah dengan hasil sesuai dengan baku mutu yang diharapkan. Untuk itu diperlukan teknologi alternatif untuk mengolah air baku tersebut. Membran Ultrafiltrasi diduga mampu menurunkan parameter seperti zat organik dan kekeruhan, seperti yang dilakukan oleh Mahmud (2002) yang menggunakan membran ultrafiltrasi untuk menyisahkan konsentrasi senyawa organik dalam air gambut.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menguji apakah membran ultrafiltrasi dapat digunakan sebagai unit pengolahan air minum dengan menggunakan air dari Waduk Saguling. Selain itu, dikaji pula efek dari pengolahan pendahuluan seperti koagulasi-flokulasi terhadap kinerja membran dalam menyisahkan parameter zat organik dan kekeruhan.

2 Membran Ultrafiltrasi

Operasi membran dapat diartikan sebagai proses pemisahan dua atau lebih komponen dari aliran fluida melalui suatu membran. Membran berfungsi sebagai penghalang (*Barrier*) tipis yang sangat selektif diantara dua fasa, hanya dapat melewatkan komponen tertentu dan menahan komponen lain dari suatu aliran fluida yang dilewatkan melalui membran (*Mulder, 1996*). Proses membran melibatkan umpan (cair dan gas), dan gaya dorong (*driving force*) akibat perbedaan tekanan (ΔP), perbedaan konsentrasi (ΔC) dan perbedaan energi (ΔE).

Proses membran Ultrafiltrasi (UF) merupakan upaya pemisahan dengan membran yang menggunakan gaya dorong beda tekanan sangat dipengaruhi oleh ukuran dan distribusi pori membran (*Mallevalle, 1996*). Proses pemisahan terjadi pada partikel-partikel dalam rentang ukuran koloid. Membran ini beroperasi pada tekanan antara 1-5 bar dan batasan permeabilitasnya adalah 10-50 l/m².jam.bar.

Terapan Teknologi Membran ini untuk dapat menghasilkan air bersih dengan syarat kualitas air minum. Air baku dimasukkan ke bejana yang berisi membran semipermeabel, dengan memberikan tekanan. Ini merupakan proses fisis yang memisahkan zat terlarut dari pelarutnya. Membran hanya dilalui pelarut, sedangkan terlarutnya, baik elektrolit maupun organik, akan ditolak (rejeksi), juga praktis untuk menghilangkan zat organik. Kontaminan lainnya seperti koloid akan tertahan oleh struktur pori yang berfungsi sebagai penyaring (sieve) molekul BM nominal. Membran yang dipakai untuk ultrafiltrasi mempunyai struktur membran berpori dan asimetrik

Keunggulan membran dibandingkan dengan pengolahan secara konvensional dalam pengolahan air minum antara lain (*Wenten, 1996*) yaitu memerlukan energi yang lebih rendah untuk operasi dan pemeliharaan, desain dan konstruksi untuk sistem dengan skala kecil, peralatannya modular sehingga mudah di-scale up dan tidak butuh kondisi ekstrim (temperatur dan pH). Walaupun demikian, membran mempunyai keterbatasan seperti terjadinya fenomena polarisasi konsentrasi, fouling, yang menjadi pembatas bagi volume air terolah yang dihasilkan dan juga keterbatasan umur membran.

Beberapa parameter utama dalam proses pemisahan menggunakan membran yaitu **Permeabilitas** dan **Permselektivitas**.

Permeabilitas

Permeabilitas suatu membran merupakan ukuran kecepatan dari suatu spesi atau konstituen menembus membran. Secara kuantitas, permeabilitas membran

sering dinyatakan sebagai fluks atau koefisien permeabilitas. Definisi dari fluks adalah jumlah volume permeat yang melewati satuan luas membran dalam waktu tertentu dengan adanya gaya dorong dalam hal ini berupa tekanan. Secara sistematis fluks dirumuskan sebagai (Mulder, 1996) :

$$J = \frac{V}{A \times t} \quad (2.1)$$

dimana :

J = Fluks ($l/m^2 \cdot jam$)

V = Volume permeat (ml)

A = Luas permukaan membran (m^2)

t = Waktu (jam)

Laju fluks akan menurun sejalan dengan waktu akibat adanya polarisasi konsentrasi, fouling dan scaling. Secara berkala dilakukan pencucian dengan air, ataupun dengan zat kimia (chemical washing) seperti misalnya dengan NaOH, Na acetat atau asam sitrat untuk mengatasi fouling yang terjadi.

Permselektivitas

Permselektivitas suatu membrane merupakan ukuran kemampuan suatu membrane untuk menahan suatu spesi atau melewatkan suatu spesi tertentu. Parameter yang digunakan untuk menggambarkan permselektivitas membran adalah koefisien rejeksi (R). Koefisien rejeksi adalah fraksi konsentrasi zat terlarut yang tidak menembus membran, dan dirumuskan sebagai :

$$R = 1 - \frac{C_p}{C_f} \times 100\% \quad (2.2)$$

dimana :

R = Koefisien rejeksi (%)

C_p = Konsentrasi zat terlarut dalam permeat

C_f = Konsentrasi zat terlarut dalam umpan.

3 Metodologi dan Bahan

Penelitian dilakukan di Laboratorium Kualitas Air dan Laboratorium Hidrolika & Hidrologi Lingkungan, ITB tahun 2003.

3.1 Tahapan Penelitian

Penelitian ini dapat dibagi menjadi tiga tahap, yaitu :

1. Penyiapan peralatan operasional ultrafiltrasi dengan metoda *dead end*

- Pembuatan membran
- Analisa untuk menentukan komposisi membran yang akan digunakan.

- Penentuan permeabilitas air RO.
- Pengujian homogenitas dari hasil permeabilitas air RO
- Pembuatan alat

2. Sampling dan analisa

- Pengambilan sample air baku dari Waduk Saguling dilakukan sebanyak dua periode, yaitu pada tanggal 23 November 2002 untuk mewakili musim kemarau dan tanggal 13 April 2003 untuk mewakili musim hujan.
- Analisa awal air baku Waduk Saguling merujuk pada prosedur Standard Method (Arnold, 1995) Pemilihan utama zat organik menggunakan metode titrasi permanganometri, demikian juga parameter-parameter lainnya.

3. Operasi proses ultrafiltrasi dengan metode *dead-end*

Sistem aliran yang digunakan adalah sistem aliran *dead-end*. Sistem ini dipilih mengingat kemudahan dalam pembuatan alat dan operasinya. Selain itu mengingat kontaminan yang akan dipisahkan terdapat dalam konsentrasi yang relatif rendah, maka sistem *dead-end* akan lebih menguntungkan dibanding sistem aliran *cross-flow*. Kegiatan dalam tahap ini adalah :

- Analisa untuk menentukan dosis optimal bahan kimia untuk proses pretreatment
- Pengujian kinerja membran terhadap air baku Waduk Saguling
- Penerapan pretreatment terhadap air baku Waduk Saguling
- Analisa permeat air baku Waduk Saguling, untuk menentukan tingkat rejeksi zat organik dan kekeruhan dari Air Waduk Saguling yakni besar efektifitas proses pengolahan dengan teknologi membran metode *dead end* dalam mengolah air baku.
- Pengujian fluks dengan proses pencucian.

Seluruh rangkaian kegiatan dilakukan dengan pengulangan.

3.2 Proses Pretreatment Air Baku

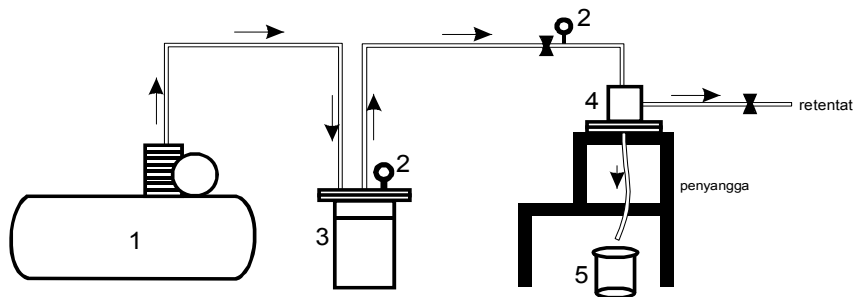
Koagulan yang digunakan pada proses pretreatment yaitu Poly Alummunium Chloride (PAC). Tujuan penambahan koagulan adalah untuk mendestabilkan koloid sehingga terjadi kontak dan penggumpalan partikel yang akan membentuk flok yang dapat diendapkan. Untuk mendapatkan dosis koagulan optimum dilakukan percobaan dengan metode jar test yaitu menggunakan beberapa macam dosis yang divariasikan secara bertingkat untuk masing-masing konsentrasi dari air baku Waduk Saguling.

3.3 Peralatan Operasional Ultrafiltrasi Metoda *Dead End*

Sistem Aliran *dead end* untuk membran ultrafiltrasi menggunakan alat-alat yang terbuat dari bahan *stainless steel*. Modul membran berbentuk lingkaran dengan luas efektif $12,57 \text{ cm}^2$. Pada bagian bawah dilengkapi dengan filter penyangga

membran. Pada bagian filter penyangga diletakkan kertas saring sebagai *support*, untuk menjaga ketahanan dari lembaran membran.. Untuk mencegah kebocoran pada system sel ultrafiltrasi maka diatas membran ditekan dengan sebuah cincin karet (*O-ring*).

Tangki air baku juga dibuat dari bahan *stainless steel*, diameter 14 cm dan tingginya 20 cm dengan volume total berkisar 2 liter, dan pada bagian atas dilengkapi dengan lubang inlet, lubang outlet, dan lubang untuk pemasangan alat ukur tekanan (*pressure gauge*).



Keterangan alat:

1. Kompresor
2. Pressure gauge
3. Tangki air baku
4. Modul membran
5. Gelas ukur permeat

Gambar 1 Skema peralatan operasi ultrafiltrasi metode *dead end*.

3.4 Pembuatan Membran

Untuk pembuatan membran bahan-bahan yang digunakan dalam pembuatan membran adalah selulosa asetat, aseton, *formamide*, dan *aquadest* (Rautenbach, 1989). Membran dibuat dengan teknik inversi fasa (*phase inversion*) dan presipitasi pencelupan yang menggunakan *aquadest* sebagai *precipitation agent*. Detail dari pembuatan dapat dilihat dalam Zulkarnain (2000) dan Mahmud (2002).

Bahan polimer yang digunakan dalam proses pembuatan larutan polimer (*dope*) disesuaikan dengan perhitungan komposisi membran. Dalam penelitian ini menggunakan tiga macam komposisi membran, yaitu CA-11 (komposisi selulosa asetat 11%), CA-13 (komposisi selulosa asetat 13%) dan CA-15 (komposisi selulosa asetat 15%). Membran yang telah dibuat penyimpanannya harus tetap terjaga dalam kondisi basah (dimasukkan kedalam plastik tertutup yang berisikan *aquadest* atau *formaline*). Membran yang telah dicetak akan

mencapai kestabilan pori setelah disimpan selama beberapa hari, yaitu apabila aseton yang terjebak di dalam struktur pori membran telah menguap seluruhnya.

Jenis membran polimer ini memiliki sifat hidrofilik sehingga mudah menyerap air dibandingkan membran yang bersifat hidrofobik. Pemilihan membran polimer ini juga berdasarkan sifat asimetrik pada membran, yakni memiliki selektivitas yang tinggi karena membrannya rapat, fluks permeatnya juga tinggi karena membran asimetrik ukurannya sangat tipis.

3.5 Parameter-Parameter yang Diuji

Pemeriksaan kualitas air dilakukan di laboratorium untuk mengetahui parameter-parameter yang disyaratkan untuk kriteria kualitas air minum

Parameter yang ditinjau dari permeat air Waduk Saguling, yaitu :

1. Zat Organik
2. pH
3. Kekeruhan

Parameter zat organik dipilih karena parameter ini termasuk yang melebihi baku mutu secara mencolok dan juga relatif sulit diolah secara konvensional. Prosedur analisis merujuk pada Arnold (1995).

4 Hasil Penelitian dan Pembahasan

4.1 Karakteristik Air Waduk Saguling

Pada Tabel 1 dapat dilihat hasil analisa kualitas air Waduk Saguling menggambarkan bahwa zat organik, warna dan kekeruhan melebihi ambang batas yang ditetapkan.

Untuk menentukan dosis optimum koagulan, pada proses koagulasi-flokulasi dilakukan percobaan Jar-test, yang dilakukan dengan memvariasikan dosis koagulan dan pH. Koagulan yang digunakan yaitu PAC. Penggunaan PAC dalam koagulasi dapat membentuk flok-flok yang bagus dan mengendap lebih cepat. PAC bekerja optimum pada kisaran nilai pH 6-9.

Pada Tabel 2 dapat dilihat penurunan parameter setelah penambahan koagulan.

Parameter	Satuan	Standar	Kemarau	Hujan	
				5m	18m
FISIKA					
Bau	-	-	-	-	-
Kekeruhan	NTU	5	9,9	3,35	42,1
Suhu	°C	Suhu Udara+3°C	27	27	27
Rasa	-	Tidak Berasa	Tidak Berasa	Tidak Berasa	Tidak Berasa
Jumlah Zat Terlarut	mg/l	1000	200	170	195
Warna	PtcO	15	40	40	100
DHL	µmhos/cm	-	430	539	480
KIMIA					
pH		6,5-8,5	7.67	7,77	9,08
Zat Organik (KmnO ₄)	mg/l	10	42,98	14,25	15,45
Oksigen Terlarut(DO)	mg/l	6	5.7	4.7	5.7
COD	mg/l	10	114,87	24,66	32,8
MBAS	mg/l	0,2	1,46	1,8	1,88
Besi (Fe)*	mg/l	0.3	0,37	-	-
Mangan (Mn)*	mg/l	0.1	0,22	-	-
Natrium (Na)*	mg/l	200	76,8	72.45	75.5
Aluminium (Al)*	mg/l	0,2	0,28	-	-
Tembaga (Cu)*	mg/l	0.02	0,01	-	-
Timbal (Pb)*	mg/l	0.03	<0,01	<0,01	<0,01
Seng (Zn)*	mg/l	5	0,01	0.017	0.017
Khrom (Cr)*	mg/l	0,05	0,002	-	-
Air Raksa (Hg)*	mg/l	0.001	0,0001	-	-
Arsen (As)*	mg/l	0,05	0,1	-	-

* Hasil Laboratorium P3G Bandung.

Tabel 1 Karakteristik air Waduk Saguling.

Dosis Mg/l	pH	Kekeruhan (NTU)	Zat organik (mg/L)
-	7.9	4.28	14.85
10	7.63	0.97	13.05
30	7.61	0.87	10.35
40	7.5	0.46	8.25
50	7.2	0.5	11.85
70	7.48	0.62	11.55
90	7.4	0.57	10.65

Tabel 2 Penentuan dosis optimum PAC pada musim hujan.

Dari Hasil Jar test didapat dosis koagulan untuk musim kemarau 50 mg/l dan pada musim hujan 40 mg/l.

4.2 Pengaruh Perbedaan Tekanan Pada Permeabilitas Air Waduk Saguling

Dalam pelaksanaan operasi membran digunakan air baku Waduk Saguling pada musim hujan dengan variasi tekanan dari 3 kg/cm² sampai 5 kg/cm², Dari percobaan tersebut didapatkan hubungan antara fluks dengan tekanan yang disajikan pada tabel 3.

Membran	P (kg/cm ²)	dV/dt	Fluks (L/m ² .jam)	Permeabilitas (L/m ² .jam.kg/cm ²)
CA-11	3	0.65	31.06	10.35
	4	2.13	101.44	25.36
	5	2.15	102.54	20.51
CA-13	3	0.69	32.89	10.96
	4	0.79	37.58	9.39
	5	1.2	57.21	11.44
CA-15	3	0.35	16.78	5.59
	4	0.6	28.74	7.18
	5	1.06	50.65	12.66
CA-15 Pretreatment	3	0.63	30.11	6.02
	4	0.88	42.12	8.42
	5	1.06	50.73	10.15

Tabel 3 Hasil perhitungan fluks dan permeabilitas air baku Waduk Saguling pada berbagai tekanan yang berbeda.

Dari tabel diatas terlihat bahwa pada tiap komposisi selulosa asetat yang sama, semakin besar tekanan yang diberikan memberikan fluks yang besar. Pada tekanan 5 kg/cm² memberikan fluks yang lebih besar untuk tiap waktu operasi dibandingkan dengan tekanan 3 kg/cm² dan 4 kg/cm². Hal ini sesuai dengan gaya dorong utama (*driving force*) dari operasi membran. Adanya tekanan yang diaplikasikan pada aliran umpan yang melewati membran akan mengakibatkan aliran fluida dengan ukuran partikel yang lebih kecil dari pori membran dapat melewati membran, sementara partikel yang lebih besar seperti kontaminan akan tertahan.

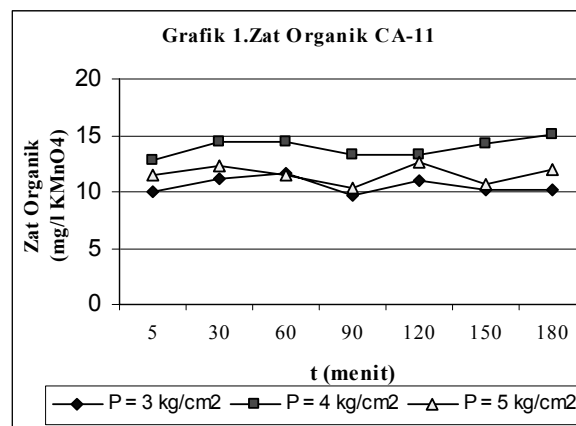
Pada membran CA-15 dengan proses pretreatment fluks permeat yang terjadi cenderung lebih tinggi, walaupun tidak mencolok bila dibandingkan dengan fluks permeat dari air baku tanpa pretreatment, walaupun pada tekanan kerja 5 kg/cm² fluks pada membran dengan air baku tanpa pretreatment hampir sama.

Komposisi membran yang digunakan juga sangat berpengaruh pada fluks. Semakin besar persen komposisi CA dari membran akan menghasilkan volume yang rendah, berbanding lurus terhadap fluks. Tekanan yang terlalu tinggi dapat menyebabkan deformasi atau pelebaran pori membran yang menyebabkan peningkatan permeabilitas membran.

4.3 Penurunan Zat Organik pada Komposisi Membran yang Berbeda

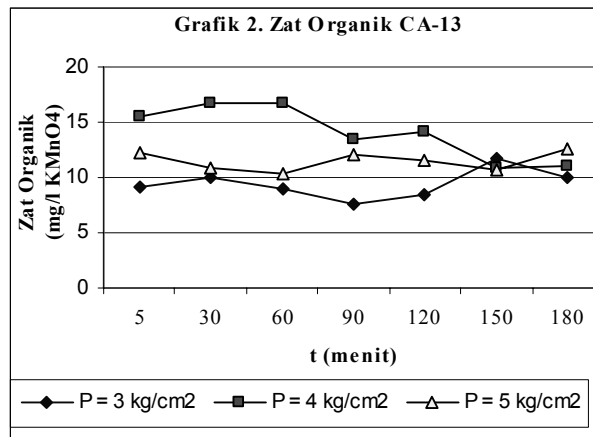
Salah satu parameter yang diambil untuk menentukan efektivitas dari proses membran adalah kemampuannya dalam merejeksi zat organik dan kekeruhan. Parameter ini merupakan parameter yang melebihi standar air minum.

Berikut ini disajikan kualitas permeat dari operasi membran CA-11, CA-13, dan CA-15 dengan variasi tekanan operasi 3, 4, dan 5 kg/cm²:



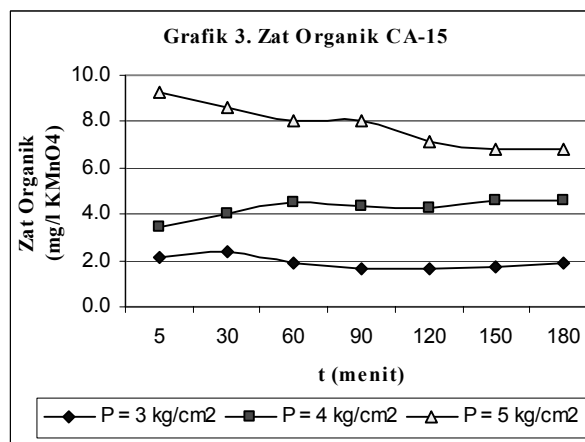
Gambar 2 Hasil penurunan zat organik pada Membran CA-11.

Pada saat awal operasi, umpan dari air Waduk Saguling mempunyai kandungan zat organik sebesar 19,3 mg/l KmnO₄. Setelah pengoperasian selama 5 menit pada tekanan 3 kg/cm² penurunan zat organik menjadi 10 mg/l KmnO₄, sedangkan pada tekanan 4 kg/cm² dan 5 kg/cm² penurunan zat organik menjadi 11 -12 mg/l KmnO₄. Pada grafik diatas rejeksi zat organik yang paling besar terjadi pada tekanan 3 kg/cm² pada waktu 90 menit operasi dimana rejeksi sampai 49,09 % dan nilai zat organik mencapai 9,6 mg/l KmnO₄. Zat organik yang diperoleh dari permeat sudah mendekati baku mutu yang diperbolehkan yaitu 10 mg/l KmnO₄. Perbedaan tekanan yang diberikan pada operasi membran CA-11 tidak menunjukkan perbedaan yang signifikan terhadap rejeksi zat organik. Hal ini sesuai dengan hasil yang diperoleh Mahmud (2002), dan Zulkarnain T (2000) yang menggunakan membran ultrafiltrasi untuk mengolah air gambut dan limbah emulsi minyak.



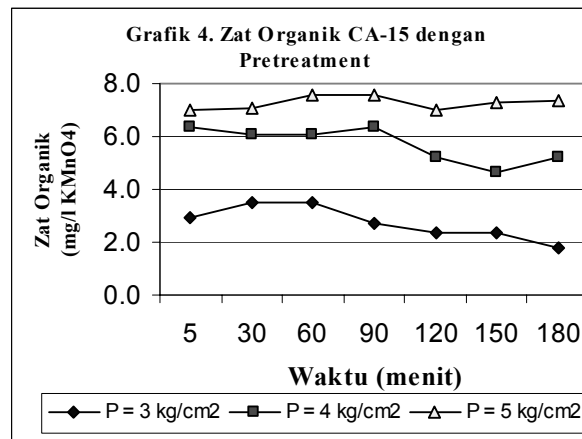
Gambar 3 Hasil penurunan zat organik pada Membran CA-13.

Hasil penurunan zat organik pada CA-13 dapat dilihat pada gambar 3. Pada awal operasi membran nilai zat organik dalam air baku yang terukur sebesar 21,1 KmnO₄. Pada tekanan 3 kg/cm², penyisihan tertinggi zat organik terjadi pada 90 menit pertama yang mencapai nilai 7.6 mg/l KmnO₄. Pada tekanan 5 kg/cm², penurunan konsentrasi zat organik tertinggi dicapai pada menit ke 60 yaitu sebesar 10,3 mg/l KmnO₄ atau tersisihkan sebesar 46,1 %. Pada menit terakhir zat organik mencapai 12,6 mg/l KmnO₄. Secara umum terlihat bahwa semakin besar tekanan operasi membran, tingkat rejeksi yang dihasilkan menurun. Hal ini diduga disebabkan oleh adanya deformasi pada membran akibat tekanan yang menyebabkan ukuran pori membran melebar.



Gambar 4 Hasil penurunan zat organik pada Membran CA-13

Dari gambar tersebut terlihat bahwa rejeksi zat organik oleh membran CA-15 dengan air baku tanpa pretreatment terbesar mencapai 80 – 90 %. Hal ini disebabkan pori yang terbentuk dari komposisi selulosa yang tinggi akan menyebabkan pori yang terbentuk rapat atau kecil, sehingga hanya partikel-partikel yang lebih kecil dari pori ini yang dapat melewati membran. Secara otomatis tingkat rejeksinya juga turut ditentukan oleh ukuran pori tersebut.



Gambar 5 Hasil penurunan zat organik pada Membran CA-15.

Pada awal operasi membran nilai zat organik yang setelah ditambahkan PAC terukur sebesar 11,6 mg/l KMnO₄. Dapat dilihat pada Gambar diatas dengan tekanan 3 kg/cm², penyisihan zat organik mencapai nilai antara 2,9 – 1.9 mg/l KmnO₄ atau mencapai rejeksi zat organik. Penurunan zat organik ini terjadi karena kemampuan membran merejeksi molekul yang ukurannya lebih besar daripada diameter pori membran, dan molekul dengan diameter lebih kecil dari membran dapat lolos.

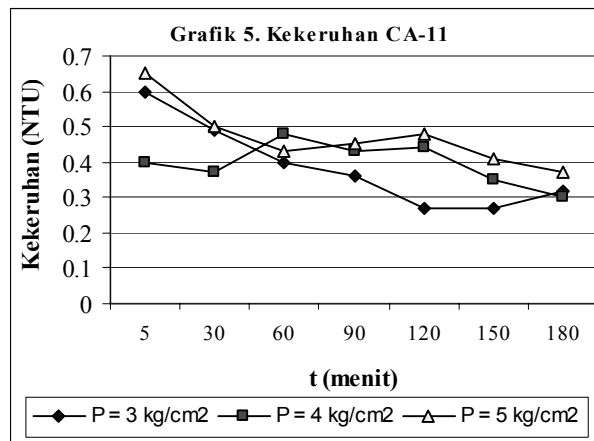
Dari hasil diatas bila dibandingkan permeat hasil operasi membran CA-15 tanpa pretreatment dengan permeat hasil operasi CA-15 dengan pretreatment terlihat bahwa penurunan zat organik mengalami kecenderungan yang sama yaitu mencapai 2 mg/l KMnO₄ pada tekanan 3 kg/cm².

Hal ini menjelaskan bahwa ukuran pori memegang peran penting dalam penyisihan zat organik dan permeat adalah molekul yang mempunyai ukuran yang lebih kecil dari diameter pori, yang pada proses pretreatment tidak dapat tersisihkan. Nilai zat organik pada permeat dari parameter yang hampir sama pada air baku yang berbeda perlakuan diduga menunjukkan bahwa zat

organik yang berada dalam permeat merupakan senyawa organik yang ukurannya sangat kecil atau terlarut.

4.4 Penurunan Kekeruhan pada Komposisi Membran yang Berbeda

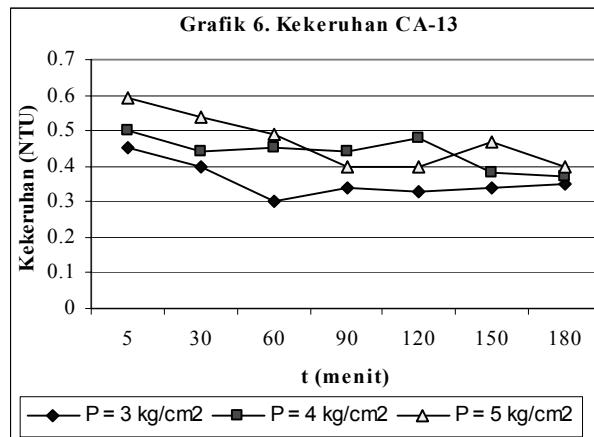
Gambar berikut menyajikan analisa permeat pada operasi membran CA-11, CA-13, dan CA-15 untuk parameter kekeruhan dengan variasi tekanan 3, 4, 5 kg/cm²:



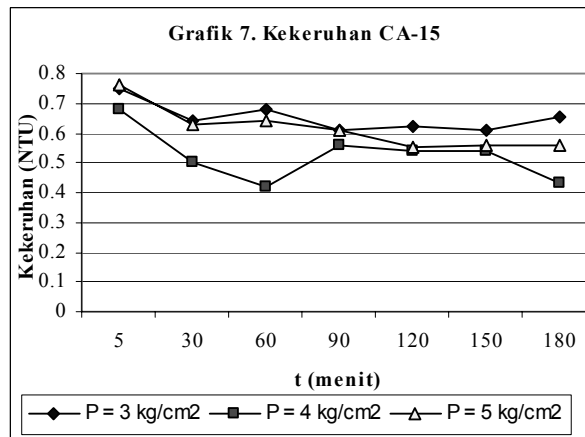
Gambar 6 Hasil penurunan kekeruhan pada Membran CA-11.

Pada gambar 6 sepanjang waktu operasi dapat dilihat bahwa tingkat kekeruhan dari hasil operasi membran CA-11 cenderung menurun. Kekeruhan pada waktu sebelum operasi mencapai 4,57 NTU. Kekeruhan pada permeat yang dihasilkan pada tekanan 3 kg/cm² setelah waktu operasi selama 5 menit mencapai 0,6 NTU dan setelah 180 menit kekeruhan mencapai 0,3 NTU. Pada tekanan 4 kg/cm² kekeruhan dari 0,4 mencapai 0,3 NTU. Sedangkan pada tekanan 5 kg/cm² kekeruhan pada 5 menit pertama 0,6 NTU dan pada akhir operasi mencapai 0,3 NTU. Nilai kekeruhan ini sudah berada di bawah baku mutu yang diperbolehkan.

Pada gambar 7 terlihat tingkat kekeruhan hasil operasi membran CA-13 cenderung menurun dengan bertambahnya waktu. Pada tekanan 3 kg/cm² tingkat kekeruhan terendah pada waktu 60 menit setelah operasi membran yaitu sebesar 0,3 NTU dan pada waktu selanjutnya tidak jauh berbeda tingkat kekeruhannya yaitu sebesar 0,35 NTU. Tingkat kekeruhan dari permeat ini memenuhi baku mutu yang diperbolehkan yaitu maksimum sebesar 5 NTU.

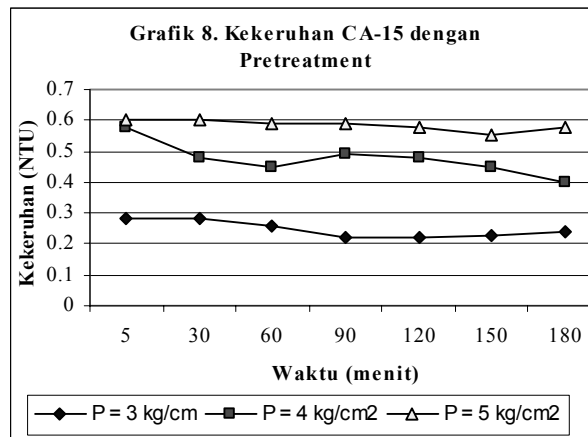


Gambar 7 Hasil penurunan kekeruhan pada Membran CA-13.



Gambar 8 Hasil penurunan kekeruhan pada Membran CA-15.

Pada membran CA-15 dengan tekanan 4 kg/cm² merupakan hasil operasi membran yang mempunyai tingkat kekeruhan paling rendah yaitu mencapai 0,42 NTU dari kekeruhan awal sebelum operasi sebesar 4,6 NTU. Pada tekanan 3 kg/cm², tingkat kekeruhan mencapai 0,66 sampai 0,78 NTU. Sedangkan pada tekanan 5 kg/cm², tingkat kekeruhan mencapai 0,55 sampai 0,76 NTU. Tingkat kekeruhan pada operasi membran CA-15 dengan berbagai tekanan sesuai dengan baku mutu yang diperbolehkan yaitu maksimum sebesar 5 NTU.

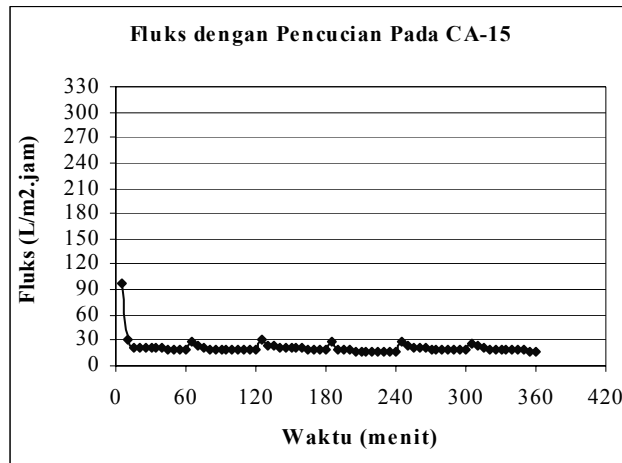


Gambar 9 Hasil penurunan kekeruhan pada Membran CA-15 dengan Pretreatment.

Sebelum proses operasi membran tingkat kekeruhan relatif cukup rendah mencapai 0,76 NTU. Pada Gambar 9 pada tekanan 3 kg/cm², kekeruhan air baku hasil operasi sekitar 0,25 NTU. Pada tekanan 4 kg/cm² pada menit ke 60 kekeruhan mengalami penurunan dari 0,58 NTU mencapai 0,45 NTU. Kekeruhan kembali naik pada menit ke 90, kemudian turun kembali pada menit ke 120 mencapai 0,45 NTU. Sedangkan pada tekanan 5 kekeruhan cenderung stabil berada pada 0,58 NTU.

4.5 Pengaruh Pencucian terhadap Fluks Air Baku Waduk Saguling

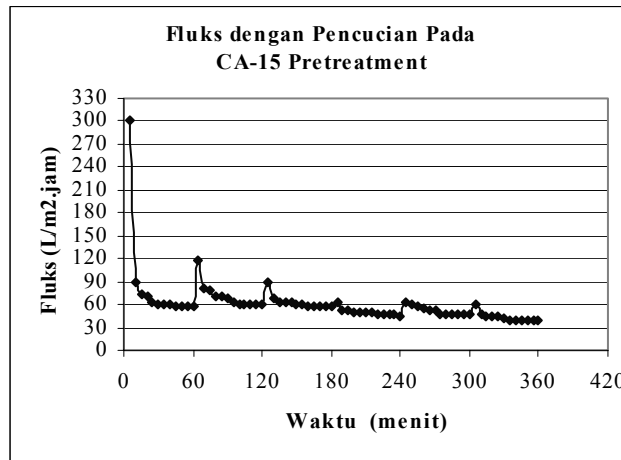
Pada pengoperasian membran pada CA-15, dilakukan pencucian dengan air aquades setiap 1 jam pengoperasian, untuk mengetahui pengaruh pencucian terhadap umur operasi membran CA-15 dengan menggunakan air Waduk Saguling dan fluks yang dihasilkan. Waktu operasi dilakukan selama 6 jam dan tiap 1 jam dilakukan pencucian dengan air aquades setiap 1 jam pengoperasian, untuk mengetahui pengaruh pencucian terhadap umur operasi membran CA-15 dengan menggunakan air Waduk Saguling dan fluks yang dihasilkan. Waktu operasi dilakukan selama 6 jam dan tiap 1 jam dilakukan pencucian dengan air aquades. Percobaan ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh pencucian terhadap umur membran. Data fluks dari percobaan ini dapat dilihat pada gambar 10.



Gambar 10 Grafik fluks terhadap waktu dengan diikuti oleh operasi pencucian.

Dari gambar diatas terlihat fenomena kenaikan fluks setelah pencucian. Pada waktu operasi selama 1 jam maka fluks menurun dari awal operasi sebesar $96,42 \text{ l/m}^2.\text{jam}$ dan akhir mencapai $19,09 \text{ l/m}^2.\text{jam}$. Setelah pencucian dengan aquades fluks kembali meningkat mencapai $28,64 \text{ l/m}^2.\text{jam}$. Pada pencucian selanjutnya akan meningkat fluks, tetapi fluks yang diperoleh tidak sebesar waktu awal operasi, hal ini disebabkan karena pencucian tidak akan dapat membersihkan partikel-partikel yang tertangkap oleh pori membran hal ini disebut dengan *irreversible fouling*. Pencucian membran akan membantu meningkatkan kenaikan fluks, hal ini disebabkan oleh partikel-partikel yang mengotori permukaan membran dapat dibersihkan dengan pencucian, fenomena ini yang dinamakan dengan *reversible fouling*.

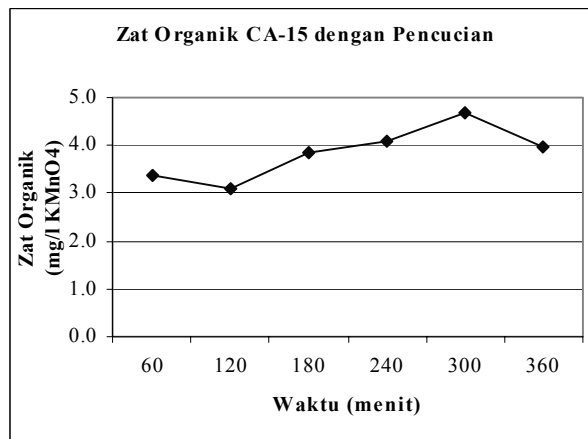
Pada gambar 11 menyajikan grafik kenaikan fluks pada proses pretreatment diikuti dengan operasi pencucian. Dari grafik terlihat bahwa fluks dari operasi membran air Waduk Saguling dengan pretreatment lebih besar dibandingkan fluks pada operasi membran tanpa pretreatment. Hal ini disebabkan karena penambahan PAC mendestabilisasikan koloid dan partikel tersuspensi pada air Waduk Saguling, dalam bentuk flok mudah mengendap dengan sendirinya dan mudah disisihkan. Pada umpan Air Waduk Saguling sudah tidak terdapat koloid ini, akan mengurangi gejala polarisasi konsentrasi yaitu terkumpulnya koloid dan partikel tersuspensi pada permukaan membran yang akan membentuk lapisan cake, hal ini yang menyebabkan fluks yang diperoleh dari air umpan dengan pretreatment menghasilkan fluks yang besar.



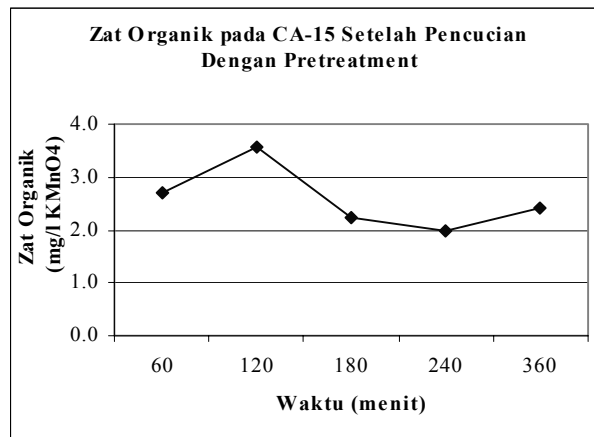
Gambar 11 Grafik fluks terhadap waktu dengan diikuti oleh operasi pencucian.

Gambar 12 menyajikan hasil analisa zat organik pada permeat setiap 1 jam waktu operasi pencucian.

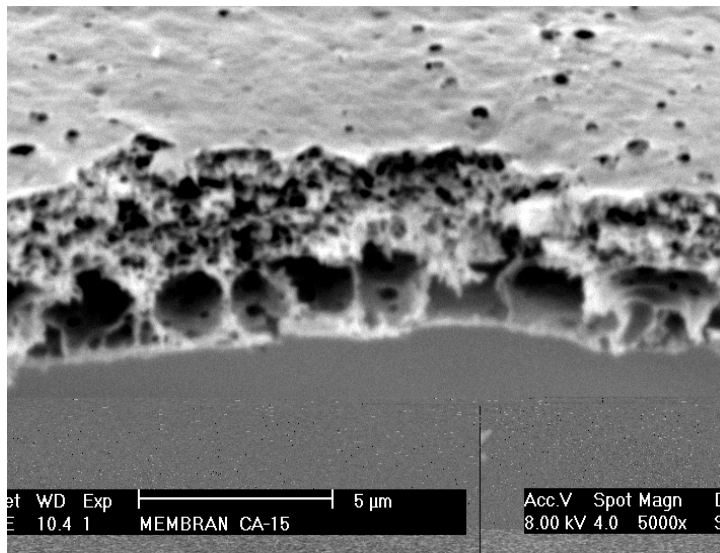
Pada waktu awal operasi zat organik tang terukur sebesar 16,1 mg/l $KmnO_4$. Setelah waktu operasi membran selama 120 menit penurunan zat organik mencapai 3 mg/l $KmnO_4$. Penambahan waktu selanjutnya sampai pada waktu 300 menit mengalami kenaikan zat organik pada permeat mencapai 4,7 mg/l $KmnO_4$. Kemudian pada pengoperasian selanjutnya mengalami penurunan zat organik sampai 4 mg/l $KmnO_4$. Fluktuasi zat organik hanya berkisar pada 3 – 4 mg/l $KmnO_4$.



Gambar 12 Kandungan zat organik terhadap waktu dari Permeat setelah pencucian dengan selang waktu 1 jam.



Gambar 13 Grafik zat organik terhadap waktu CA-15 dengan Pretreatment operasi pencucian.

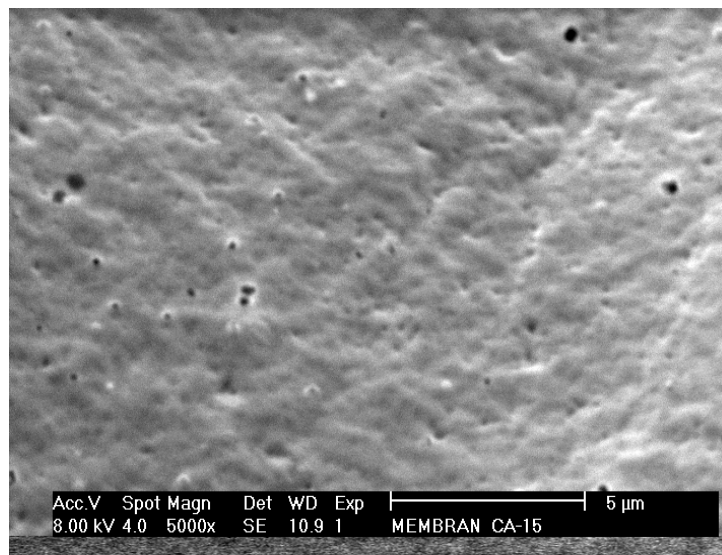


Gambar 14 Foto SEM pada Membran CA-15 dilihat dari penampang melintang.

Pada awal operasi membran zat organik yang terukur sebesar 16,1 mg/l. Pada waktu 60 menit setelah operasi zat organik mengalami penurunan sampai 2,7 mg/l. Setelah pencucian pada membran zat organik kembali naik mencapai 3,6 mg/l. Hal ini diduga karena pada saat pencucian dengan air aquades, terjadi turbulensi pada aliran yang akan menggerus permukaan membran sehingga terbentuk lubang pori baru pada membran, menyebabkan lolosnya sebagian zat organik dalam permeat. Setelah waktu mencapai 240 menit konsentrasi zat

organik dalam permeat menurun, disebabkan terjadinya penyempitan pori membran akibat fouling atau dapat dikatakan diameter pori membran semakin kecil. Semakin kecilnya diameter pori, akan mengakibatkan partikel-partikel yang lebih kecil dari pori tersebut akan lolos. Selain itu pada permukaan membran akan terjadi polarisasi konsentrasi dan pembentukan cake. Kedua fenomena tersebut akan menurunkan fluks tetapi akan meningkatkan daya saring membran terhadap konstituen.

Gambar 14 dan 15 menyajikan foto SEM dari membran yang telah digunakan. Pada gambar 14 penampang terlihat ketebalan cake yang terjadi, dan juga sebagian koloid yang masuk atau terperangkap pada pori membran. Pada Gambar 15 memperlihatkan bahwa pada permukaan membran dan pori-pori membran telah tertutupi oleh cake yang terbentuk.



Gambar 15 Foto SEM pada Membran CA-15 dilihat dari permukaan.

5 Kesimpulan

Dari hasil penelitian air baku Waduk Saguling setelah operasi membran dengan metode dead-end, dapat ditarik beberapa kesimpulan dibawah ini:

1. Membran ultrafiltrasi mempunyai prospek yang sangat baik untuk digunakan sebagai unit pengolahan air minum dengan air baku Waduk Saguling.
2. Tingkat rejeksi zat organik membran CA-15 pada tekanan 3 kg/cm² untuk air Waduk Saguling pada musim hujan adalah 80-90 %.

3. Penurunan zat organik pada CA-15 tanpa pretreatment dan pretreatment pada tekanan 3 kg/cm², cenderung sama, tetapi Fluks yang dihasilkan pada pretreatment lebih besar.

Saran

Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut mengenai pengaruh logam dan fouling pada kinerja membran dengan waktu operasi (running time) yang lebih lama.

Daftar Pustaka

1. Arnold E., *Standard Method for the Examination of Water and Waste Water*, 19th Edition, Washington (1995).
2. Badan Penelitian dan Pengembangan Pekerjaan Umum., *Penelitian Pencemaran Air Waduk Saguling*, Bandung (1986).
3. Cheryan, M., et al., *Reverse Osmosis of Milk with Thin Film Composite Membranes*, Journal of Membran Science, (1990) Publication.
4. Mallevalle, Joel., *Water Treatment Membran Processes*, AWWA, Lyonnaise des Eaux, Water Research Commision of South Africa ; Mc Graw Hill. New York (1996).
5. Mulder M., *Basic Principles of Membrane Technology*, Kluwer Academic Publishers, Netherland (1996).
6. Peter E., et al., *Water Treatment Membrane Processes*, Mcgraw Hill, Washington (1996).
7. Peavy, Howard S. *Environmental Engineering*, McGraw Hill, New York (1985).
8. Rautenbach R. & Albert R., *Membran Process*, John Willey & Sons Ltd, New York, (1989).
9. Sawyer, Claire N., *Chemistry for Environmental Engineering*, Mc Graw Hill International Editions (1994).
10. Wenten, I. G., *Membrane Technology for Industry and Environmental Protection*, UNESCO, Center for Membrane Science and Technology, Institut Teknologi Bandung (1996).
11. Zulkarnain T., *Pengolahan Limbah Cair Emulsi Minyak dengan Teknologi Membran Ultrafiltrasi*, Thesis, ITB (2000).