

## Pengolahan Air Limbah Menjadi Air Minum Dengan Menghilangkan Amonium Dan Bakteri E-Coli Melalui Membran Nanofiltrasi

**Malikhatul Hidayah**

Program Studi Kimia Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Walisongo Semarang, Indonesia

\*Email: [malikha@walisongo.ac.id](mailto:malikha@walisongo.ac.id)

### Abstract

*Industrial waste water area that flows in the River Flood Canal Semarang can affect the environment if not done processing. Membrane is one alternative water treatment technologies with the principle of filtration. The presence of fouling is a problem encountered in the use of the membrane. In this study will be made of non-fouling nanofiltration membranes made from cellulose acetate. Manufacture of cellulose acetate membrane is accomplished by phase inversion method, which is changing the shape of the polymer solid phase into the liquid phase rich in solvent into solids (membrane) which is rich in polymer. Therefore, the aim of this study was to create a non-fouling nanofiltration membrane using cellulose acetate polymer as well as assess the effect of PEG additives and pre-treatment with UV light to the surface of the structure and performance of cellulose acetate membranes for produced water treatment. Research using cellulose acetate membranes for wastewater treatment is done by varying the type of PEG 1500 and 4000, variations of PEG of 1, 3 and 5% by weight and a UV irradiation for 10, 20 and 30 seconds. The research followed by testing the performance of the membrane in wastewater treatment using a dead-end filtration with the parameters of flux and rejection. Characterization of the membrane was analyzed with SEM and FTIR. Analysis of the results was conducted to determine the levels of turbidity, TDS, COD,  $Ca^{2+}$ ,  $S^{2-}$  and oil in waste water before and after passing through the membrane.*

Keywords : Waste water, nanofiltration membranes, cellulose acetate. filtration apparatus, SEM and FTIR analysis

### Pendahuluan

Sungai banjir Kanal merupakan sumber air minum bagi kota Semarang. Air minum sangat penting dalam kehidupan manusia. Produsen air bersih yang ada di Semarang saat ini, PDAM, hanya mampu menghasilkan air bersih tetapi bukan air yang dapat langsung di minum. Hal ini, salah satunya, disebabkan oleh

air baku PDAM yang berasal dari sungai banjir kanal Semarang, telah tercemar limbah dari kawasan industri Di Semarang dan limbah rumah tangga. Sehingga penurunan kualitas air berpengaruh pada kualitas air PDAM Semarang sehingga dapat mengancam konsumen PDAM.

Dalam proses pemanfaatan air limbah menjadi air minum, diperlukan pengolahan

yang memenuhi standar kualitas yang ada, agar produk yang dihasilkan berkualitas tinggi dan tidak membahayakan kesehatan manusia. Pengolahan air minum yang sudah diterapkan di Indonesia berupa pengolahan konvensional yang terdiri dari Koagulasi-Flokulasi, Sedimentasi dan Filtrasi. Akhir-akhir ini, salah satu teknologi yang banyak digunakan di negara-negara maju adalah Teknologi Membran. Teknologi ini merupakan teknologi bersih yang ramah lingkungan karena tidak menimbulkan dampak yang buruk bagi lingkungan. Teknologi membran ini dapat mengurangi senyawa organik dan anorganik yang berada dalam air tanpa adanya penggunaan bahan kimia dalam pengoperasiannya. (Wenten 1999).

Pada penelitian ini, modifikasi permukaan dilakukan dengan pencampuran zat aditif PEG. PEG berperan dalam membentuk pori-pori, meningkatkan jumlah pori-pori pada membran nanofiltrasi sehingga meningkatkan permeabilitas membran, menekan jumlah *macrovoids* dan memberikan sifat hidrofilik pada membran (Ma dkk., 2011, Sukmawati dan Firdaus, 2014). Akan tetapi, modifikasi dengan penambahan zat aditif menghasilkan membran yang mempunyai struktur tidak stabil karena tidak adanya ikatan kimia antara polimer dan zat aditif (Nur dkk., 2013). Oleh karena itu, untuk mendapatkan membran *non-fouling* yang memiliki struktur lebih stabil, maka dapat dilakukan modifikasi permukaan membran menggunakan kombinasi metode pencampuran zat aditif diikuti dengan *pre-treatment* sebelum koagulasi. *Pre-treatment* dilakukan dengan penyinaran sinar UV pada membran sebelum dilakukan proses koagulasi. Penyinaran sinar UV berfungsi untuk pemotongan rantai polimer (*chain scission*) dan proses ikatan silang (*crosslinking*) (Susanto dkk., 2007). Untuk itu dibutuhkan penelitian lebih lanjut mengenai pengaruh penambahan zat aditif dan penyinaran sinar UV terhadap kinerja dan karakteristik membran nanofiltrasi *non-fouling* selulosa asetat pada Limbah Air. Masalah yang akan dibahas dalam penelitian ini adalah:

1. Seberapa besarkah efektifitas membran Nanofiltrasi?
2. Dapatkah menghasilkan air dengan kualitas lebih baik yaitu tidak hanya air yang bersih melainkan juga air minum yang sesuai dengan Keputusan Menteri Kesehatan No. 907/ MENKES/ SK/ VII/2002?

Tujuan yang ingin dicapai melalui Penelitian ini adalah:

1. Menguji efektifitas membran Nanofiltrasi
2. Mendapatkan air dengan kualitas lebih baik yaitu tidak hanya air yang bersih melainkan juga air minum.

Yang diharapkan dari penelitian ini dapat menghasilkan air minum dari teknologi membran yang sesuai dengan Keputusan Menteri Kesehatan No.907/ MENKES/SK/VII/2002. Pengolahan pendahuluan berupa proses koagulasi dan flokulasi secara umum merupakan suatu proses penambahan bahan kimia pembentuk flok pada air minum atau air buangan, untuk bergabung dengan padatan koloid yang sulit mengendap, sehingga dapat dihasilkan flok-flok yang mudah mengendap serta proses pengendapan secara

## Metode Penelitian

### Alat dan Bahan

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini antara lain: air terproduksi dari Chevron Pacific Indonesia, selulosa asetat (CA) dari MKR Chemicals, PEG 1500 dan PEG 4000 dari Sigma-Aldrich Chemie GmbH Steinheim Jerman, Aseton 99,75 % dari Mallinckrodt Chemicals, dan akuades dari Laboratorium Terpadu Universitas Diponegoro.

Alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah turbidimeter, *magnetic stirrer*, plat kaca, *casting knife*, selotip, bak koagulasi, oven, sumber sinar UV, peralatan SEM, peralatan FTIR, sel filtrasi *dead-end*, spektrofotometer, peralatan titrimetri, dan *Gas Chromatography*.

## Penetapan Variabel

### Variabel Tetap

- a. Polimer : 18 wt% Selulosa asetat
- b. Pelarut : Aseton
- c. Aditif : PEG
- d. Jenis sinar UV : UV A
- e. Koagulan : akuades pada suhu kamar

### Variabel Bebas

Untuk meneliti pengaruh zat aditif terhadap kinerja dan karakteristik membran selulosa asetat, penentuan jenis PEG dalam larutan dirancang sesuai dengan Untuk meneliti pengaruh *pre-treatment* penyinaran sinar UV, penentuan lama penyinaran sinar UV.

### Prosedur Kerja

#### Pembuatan Membran Selulosa Asetat

Pembuatan membran diawali dengan pembuatan larutan polimer (*casting*) yang terdiri dari polimer CA, PEG dan Aseton. Membran dibuat dengan komposisi CA tetap yaitu 18 wt%. Jenis PEG yang digunakan yaitu PEG 1500 dan 4000, sedangkan komposisi variasi masing-masing jenis PEG yaitu 1 wt%, 3 wt%, dan 5 wt%. CA dimasukkan bersama Aseton ke dalam labu erlenmeyer tertutup dan diaduk selama 8 jam dengan *magnetic stirrer* hingga semua CA terlarut, kemudian ditambahkan PEG. Selanjutnya larutan didiamkan selama 1 hari untuk menghilangkan gelembung udara dan siap untuk dicetak dengan teknik *phase inversion*.

Cara pencetakan dengan teknik *phase inversion* yaitu dengan menuangkan larutan cetak ke atas pelat kaca yang bagian tepinya diberi selotip. Selanjutnya *casting knife* digerakkan ke bawah untuk membentuk lapisan tipis pada pelat kaca, lalu dilakukan penyinaran dengan sinar UV dengan variasi waktu selama 10, 20, dan 30 menit, kemudian dimasukkan ke dalam bak koagulasi yang berisi akuades selama 1 jam dilanjutkan perendaman dalam bak koagulasi lain selama 24 jam. Kemudian membran dikeringkan dalam oven bersuhu 40-50 °C selama 24 jam.

## Karakterisasi Membran

### Penentuan fluks dan rejeksi membran

Nilai fluks ditentukan dengan sel filtrasi *dead-end* seperti ditunjukkan pada Gambar 3.2. Dalam sel filtrasi diletakkan kertas saring dan membran yang akan diukur nilai permeabilitasnya. Akuades dengan volume kurang lebih 150 mL dimasukkan ke dalam sel filtrasi dan ditutup rapat, kemudian diberikan tekanan udara sebesar 3,5 bar. Proses kompaksi dilakukan terlebih dahulu agar rantai polimer menyusun diri selama 30-45 menit. Setelah proses kompaksi, akuades dalam sel filtrasi diganti dengan air terproduksi, pengukuran fluks air terproduksi dilakukan dengan mengukur volume air terproduksi yang dapat ditampung selama selang waktu tertentu dengan interval 30 menit. Nilai fluks dihitung dengan perbandingan volume permeat per satuan waktu. Penentuan koefisien rejeksi ditentukan dengan menentukan konsentrasi sebelum dan sesudah melewati membran.

### Penentuan struktur morfologi membran

Penentuan struktur morfologi membran dilakukan dengan SEM (*Scanning Electron Microscopy*). Mula-mula membran dikeringkan terlebih dahulu, kemudian membran direndam dalam nitrogen cair selama beberapa detik hingga mengeras. Sebelum dilakukan pemotretan, membran diangkat dan dipatahkan kedua ujungnya dengan pinset. Potongan membran ini dilapisi emas murni (*coating*) yang berfungsi sebagai penghantar. Selanjutnya, penampang melintang dan permukaan membran difoto dengan perbesaran tertentu.

### Uji FTIR (*Fourier Transform Infra Red*)

Karakterisasi membran menggunakan FTIR digunakan untuk mengetahui gugus fungsional pada membran. Uji ini dilakukan untuk memastikan adanya selulosa asetat dan PEG, serta pengaruh jenis PEG yang digunakan dan penyinaran sinar UV pada membran.

### Aplikasi membran selulosa asetat untuk pengolahan air Limbah

#### a. Analisa Kekeruhan

Analisa kekeruhan (*turbidity*) pada air terproduksi mengacu pada SNI 06-6989.25-2005.

Analisa dilakukan dengan alat turbidimeter dengan menganalisa nilai NTU (*Nefelometrik Turbidity Unit*) air terproduksi sebelum dan sesudah melewati membran.

b. Analisa *Total Dissolved Solids* (TDS)

Analisa TDS dilakukan secara Gravimetri sesuai dengan SNI 06-6989.27-2004 pada air terproduksi sebelum dan sesudah melewati membran. Prinsip dasar pengukuran yaitu air terproduksi yang telah homogen disaring dengan kertas saring *glass fiber*, filtrat ditampung dalam cawan dan dievaporasi pada suhu  $180^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$  serta ditimbang hingga didapat berat konstan. Kenaikan berat cawan sebanding dengan berat padatan terlarut total (TDS).

c. Analisa *Chemical Oxygen Demand* (COD)

Analisa ini dilakukan dengan refluks tertutup secara spektrofotometri mengacu pada SNI 6989.2-2009. Langkah pertama adalah preparasi sampel, apabila diperlukan maka lakukan pengenceran terlebih dahulu. Sampel sebanyak 2 mL dicampurkan ke dalam *tube* reagen dengan menggunakan takaran suntik yang telah disediakan, kemudian dikocok. Sampel lalu dipanaskan menggunakan COD *reactor* HI 839800 selama 2 jam pada suhu  $150^{\circ}\text{C}$ . Selesai dipanaskan, sampel didiamkan terlebih dahulu hingga hangat selama kurang lebih 20 menit, selanjutnya dilakukan pengocokkan lalu didiamkan hingga benar-benar dingin. Setelah itu pembacaan sampel dilakukan dengan spektrofotometer pada panjang gelombang 600 nm.

d. Analisa ion  $\text{Ca}^{2+}$  dengan titrimetri (SNI 06-6989.75-2009)

Bahan-bahan yang digunakan dalam uji kesadahan pada analisa ion  $\text{Ca}^{2+}$  antara lain: indikator Mureksid ( $\text{C}_8\text{H}_8\text{N}_6\text{O}_6$ ), indikator Eriochrome Black T (EBT =  $\text{C}_{20}\text{H}_{12}\text{N}_3\text{NaO}_7\text{S}$ ), NaOH 1 N, Larutan penyangga pH 10, larutan standar kalsium karbonat ( $\text{CaCO}_3$  0,01 M), dinatrium etilendiamin tetra asetat dihidrat ( $\text{Na}_2\text{EDTA} \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  =  $\text{C}_{10}\text{H}_{14}\text{N}_2\text{Na}_2\text{O}_8 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) 0,01 M, serbuk KCN dan akuades.

Pertama, ambil 50,0 mL sampel tambahkan 2 mL larutan NaOH 1 N (secukupnya) sampai dicapai pH 12-13. Apabila contoh uji keruh, tambahkan 1mL sampai dengan 2 mL larutan KCN 10%. Tambahkan seujung spatula atau setara dengan 30 mg - 50 mg indikator Mureksid. Lakukan titrasi dengan larutan baku  $\text{Na}_2\text{EDTA}$  0,01 M sampai terjadi perubahan warna merah muda menjadi ungu. Catat volume larutan baku  $\text{Na}_2\text{EDTA}$  yang digunakan dan hitung kadar Ca dengan menggunakan persamaan:

$$Ca \left( \frac{mg}{L} \right) = \frac{V_{titran} \times M_{EDTA} \times BM_{Ca} \times 1000}{V_{Sampel}}$$

e. Analisa ion  $\text{S}^{2-}$  dengan iodometri (SNI 03-6875-2002)

Pada analisa ion  $\text{S}^{2-}$ , bahan yang digunakan antara lain : larutan KI 0,1 N, larutan  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$  1 N, indikator amylum , larutan  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$  0,01 N, larutan  $\text{NH}_4\text{OH}$  dan  $\text{H}_2\text{SO}_4$ , larutan HCl pekat dan akuades.

Pertama, dilakukan uji keasaman pada sampel, ditambahkan  $\text{NH}_4\text{OH}$  apabila terlalu asam atau dengan ditambahkan  $\text{H}_2\text{SO}_4$  apabila terlalu basa. Kedua, ambil sampel sebanyak 10,0 ml sebagai bahan titrasi, tambahkan larutan KI 0,1 N sebanyak 12 ml. Ketiga, lakukan titrasi dengan menggunakan  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$  hingga warna kuning hampir hilang, kemudian ditambahkan indikator amylum hingga warna biru. Kebutuhan titran yang dihasilkan digunakan sebagai perhitungan kadar  $\text{S}^{2-}$  dengan menggunakan rumus persamaan (3.2).

$$S^{2-} = (V.N) Na_2S_2O_3 . BM S . \frac{1000}{V_{sampel \text{ yang dititrasi}}}$$

f. Analisa kadar minyak

Analisa kadar minyak dapat dilakukan dengan menggunakan instrument *Gas Chromatography* yang dilakukan di Laboratorium Penelitian dan Pengujian Terpadu Universitas Gajah Mada.

## Hasil Penelitian dan Pembahasan

Dari hasil penelitian, air baku dianalisa untuk mengetahui karakteristiknya. Parameter yang dianalisa adalah pH, suhu, warna, kekeruhan, TSS, TDS, dan *E. coli*. Tabel 1 berikut memperlihatkan karakteristik air Limbah

Tabel 1. Hasil Analisa Karakteristik Air limbah

Parameter	Satuan	Air Ilimbah				KEPMENKES 907/2002
		Uji I	Uji II	Uji III	Rata-rata	
pH	-	6,98	7,06	7,2	7,08	6,5-8,5
Suhu air	0C	28,4	28,8	28,6	28,6	Suhu ruang ± 30C
Suhu ruang		28	28	28	28	
Warna	Mg/LPtCo	18,27	17,86	18,05	18,06	Maks. 15
Kekeruhan	NTU	112	98	117	109	Maks. 5
TSS	mg/L	157	148	139	148	Maks. 50
TDS	mg/L	283	268	262	271	Maks. 1000
<i>E.coli</i>	MPN/100	8			8	
	mL	7,08x10	-	-	7,08x10	Maks. 0

Dari hasil analisa diatas menunjukkan bahwa kualitas air tidak memenuhi standar kualitas air minum (Kepmenkes No. 907/MENKES/ SK/ VII/ 2002) terutama untuk parameter warna, kekeruhan, TSS dan *E.coli*, maka dari itu perlu dilakukan pengolahan sebelum dikonsumsi.

Kemudian dilakukan pengolahan pendahuluan dengan tujuan untuk menurunkan kandungan kontaminan yang terkandung dalam

air limbah sebelum menuju proses pengolahan lanjut menggunakan teknologi membran. Pengolahan pendahuluan yang dilakukan menggunakan sistem KFS. Pengolahan pendahuluan menggunakan KFS ini diawali dengan melakukan analisa jartest yang ditujukan untuk menentukan dosis optimum dari koagulan.. Koagulan yang digunakan adalah alum.

Tabel 2. Hasil Analisa Jartest

No.	Dosis Alum (mg/L)	pH	Suhu (°C)	Warna (mg/L PtCo)	Kekeruhan (NTU)
1	40	6,75	27,1	4,00	2,85
2	50	6,71	27,1	2,75	2,20
3	60	6,65	27,1	2,13	1,05
4	70	6,56	27,2	1,81	0,85
5	80	6,46	27,1	1,34	0,55
6	90	6,51	27,2	1,81	1,05
7	100	6,65	27,1	2,13	1,35
8	110	6,74	27,2	3,38	1,80

Pada tabel 2 terlihat kekeruhan menurun seiring dengan penambahan koagulan hingga 80 mg/L, hal ini disebabkan penambahan koagulan mempercepat timbulnya flok. Sedangkan setelah dosis koagulan di atas 80 mg/L, kekeruhannya meningkat kembali. Hal ini dikarenakan kondisi air sudah jenuh yang menyebabkan flok terpecah kembali. Selanjutnya dilakukan pengenceran konsentrasi alum supaya

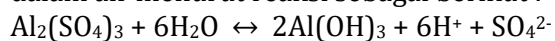
memudahkan dalam mengatur *flow rate* pembubuhan. Pengenceran dilakukan sebanyak 5 kali sehingga konsentrasi alum yang ada menjadi 4000 ppm. Alum dengan konsentrasi

4000 ppm ini kemudian digunakan untuk KFS. Pada sistem *pilot plan* KFS, air baku memiliki *flow rate* 0,75 L/menit dan *flow rate* alum untuk konsentrasi 4000 ppm sebesar 15 mL/menit.

Tabel 3. Hasil Analisa Efluen dan % Rejeksi KFS

Parameter	Satuan	Air Baku	Efluen KFS	% Rejeksi	KEPMENKES 907/2002
pH	-	7,08	6,47	-	6,5-8,5
Suhu	0C	30	27,75	-	Suhu ruang ± 30C
Suhu ruang		29	29		
Warna	mg/L PtCo	18,06	5,25	70,93	Maks. 15
Kekeruhan	NTU	109	6,55	93,99	Maks. 5
TSS	mg/L	148	47	68,24	Maks. 50
TDS	mg/L	271	170	37,24	Maks. 1000
<i>E.coli</i>	MPN/100 mL	7,08x108	1550	99,9994	Maks. 0

Pada proses KFS, penambahan koagulan ini dilakukan untuk membantu pengendapan koloid, koloid merupakan partikel yang tidak dapat mengendap secara alami karena adanya stabilitas suspensi koloidal. Hidrolisa atom Al dalam air menurut reaksi sebagai berikut :



Reaksi diatas menyebabkan pembebasan ion  $\text{H}^+$  sehingga pH larutan berkurang. Jika dilihat pada Tabel 3 diatas, dimana pH air baku 7,08 kemudian pH efluen KFS menjadi 6,47, hal ini sesuai dengan proses hidrolisa atom Al seperti telah dijelaskan diatas. Selain itu, pH 6,47 untuk efluen KFS ini menunjukkan bahwa berada pada kondisi rentang pH dimana alum dapat bekerja optimum yaitu berkisar antara 6-8 (Alaerts dan Santika 1987).

Setelah air limbah diolah menggunakan pengolahan pendahuluan, selanjutnya dilakukan pengolahan lanjutan terhadap air baku tersebut

menggunakan teknologi membran, dalam hal ini membran mikrofiltrasi dan ultrafiltrasi.

Sebelum digunakan, terlebih dahulu dilakukan uji kompaksi dan permeabilitas untuk mengetahui karakteristik embran yang dihasilkan. Berdasarkan uji kompaksi dan permeabilitas terhadap membran Nanofiltrasi berdasarkan hasil penelitian sebelumnya didapatkan hasil bahwa nilai rejeksi untuk membran MF yang paling tinggi dicapai oleh tekanan hisap pompa sebesar 1,5 bar (Susilowati, 2005). Luas permukaan dari membran adalah 0.0828 m<sup>2</sup> sehingga dihasilkan fluks sebesar 105,797 L/m<sup>2</sup> jam. Hal ini dapat dilihat pada Gambar 10 berikut.

Berdasarkan hasil penelitian sebelumnya diketahui untuk uji kompaksi ini digunakan TMP 1,25 bar karena membran UF memiliki range TMP 1-10 bar sehingga digunakan TMP minimum untuk mendapatkan fluks konstan yang paling rendah (Arfiantinosa, 2004).

Tabel 4. Hasil Analisa Permeat dan % Rejeksi Membran MF, UF dan MF-UF

Parameter	Satuan	Air Baku	Permea t	% Rejeksi	Permea t	% Rejeksi	Permea at	% Rejeksi	KEPMENKE S No.
pH	-	7,08	7,81	-	6,40	-	7,68	-	6,5-8,5
Suhu air	0C	30	26,5	-	28,60	-	29	-	deviasi 3
Suhu ruang		29	28	-	28	-	28	-	
Warna	mg/L	18,06	0,41	97,73	2,13	88,21	2,12	88,26	15
Kekeruhan	NTU	109	0,54	99,5	1,00	99,08	4,76	95,63	5
TSS	mg/L	148	ND	100	ND	100	ND	100	50
TDS	mg/L	271	150	44,65	77,5	71,4	75,3	72,21	1000
<i>E.coli</i>	MPN/100	8	0	100	0	100	0	100	0

## Kesimpulan

Dari serangkaian penelitian yang telah dilakukan dapat diambil kesimpulan yaitu berdasarkan jenis membran yang digunakan dalam penelitian ini, maka dapat diketahui bahwa jenis membran yang menghasilkan persen rejeksi kontaminan terbaik adalah rangkaian KFS-MF-UF untuk parameter pH, suhu, TDS, TSS, dan *E. coli*. Sementara untuk parameter warna dan kekeruhan, yang terbaik dihasilkan oleh rangkaian KFS-MF.

Berdasarkan KEPMENKES No. 907/MENKES/SK/VII/2002, maka dapat diketahui bahwa permeat dari rangkaian membran Nanofiltrasi telah memenuhi persyaratan air minum untuk 7 parameter penting, yaitu pH, suhu, warna, kekeruhan, TSS, TDS, dan kandungan bakteri *E.coli*. Pengolahan air dengan teknologi membran telah menghasilkan air olahan dengan kualitas air minum yang disyaratkan (untuk 7 parameter penting, yaitu pH, suhu, warna, kekeruhan, TSS, TDS, dan kandungan bakteri *E. coli*), bukan hanya sekedar menghasilkan air bersih, sehingga air olahan teknologi membran dapat dikonsumsi manusia secara aman.

## Daftar Pustaka

- Ahmadun, F.R., Pendashteh, A., Abdullah, L.C., Biak, D.R.A., Madaeni, S.S., Abidin, Z.Z. 2009. Review of Technologies for Oil and Gas Produced Water Treatment, *Journal of Hazardous Materials*, vol. 170, pp. 530-551.
- Alzahrani, S., Mohammad, A.W., Hilal, N., Abdullah, P. dan Jaafar, O. 2013a. Comparative study of NF and RO membranes in the treatment of produced water — Part I: Assessing water quality, *Desalination*, vol. 315, pp. 18-26.
- Alzahrani, S., Mohammad, A.W., Hilal, N., Abdullah, P. dan Jaafar, O. 2013c. Potential tertiary treatment of produced water using highly hydrophilic nanofiltration and reverse osmosis membranes, *Journal of Environmental Chemical Engineering*, vol. 1, pp. 1341-1349.
- Barker, R.W. 2004. *Membrane Technology and Application*. 2nd ed, John Wiley & Sons, Ltd., West Sussex.
- Billmeyer, F.W. 1962. *Text Book of Polimer Science*, John Willey and Sons Inc., New York and London.

- Kirk, B. E. dan Othmer, D.F. 1996. *Encyclopedia of Chemical Technology*, The Interscience Encyclopedia Inc, New York.
- Mulder, M. 1996. *Basic Principles of Membrane Technology*, Kluwer Academic Publishers, Netherland.
- Nunes, S. P. dan Peinemann, K.V. 2001. *Membrane Technology in The Chemical Industry*, New York: Willey VCH.
- Nur, A.P., Sari, D.K. dan Susanto, H. 2013. Integrasi Penyinaran Dengan Sinar UV Pada Proses Inversi Fase Untuk Pembuatan Membran Non-Fouling, *Jurnal Teknologi Kimia dan Industri*, vol.2, no.4, pp.189–197.
- Sukmawati, H. dan Firdaus, M.M.H. 2014. *Pembuatan dan Karakterisasi Membran Selulosa Asetat untuk Pengolahan Air Terproduksi*, Skripsi, Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Diponegoro, Semarang.
- Susanto, Heru, Balakrishnan, M., dan Ulbricht, M. 2007. Via surface functionalization by photograft copolymerization to low-fouling polyethersulfone-based ultrafiltration membranes, *Journal of Membrane Science*, vol. 288, pp. 157-167.
- Uemura T., dan Henmi M. 2008. Thin-Film Composite Membranes for Reverse Osmosis. Dalam Li, N.N., Fane, A.G., Ho, W.S., dan Matsura, T. (Editor), *Advanced Membrane Technology and Application* , pp. 3-18, New Jersey : John Wiley & Sons Inc.