



Pengolahan Limbah Cair *Laundry* Menggunakan Membran Selulosa Diasetat Berbasis Selulosa Pulp Kayu Sengon (*Paraserianthes falcataria*)

Treatment of Laundry Liquid Waste Using Cellulose Diacetate Membrane Based Cellulose Pulp from Wood of Sengon

Vera Roni Setiawan^{1*}, Cut Meurah Rosnelly², Darmadi²

¹⁾ Magister Teknik Kimia Pascasarjana Universitas Syiah Kuala

²⁾ Fakultas Teknik Universitas Syiah Kuala

Jl. Tgk. Syech Abdurrauf No. 7, Darussalam, Banda Aceh, Provinsi Aceh, 23111

*E-mail: veraronisetiawan@yahoo.co.id

Abstrak

Peningkatan jumlah *laundry* membawa efek negatif pada lingkungan karena limbah *laundry* memiliki kandungan polutan yang tinggi seperti fosfat, surfaktan, mineral, nitrogen, COD, dan komponen lainnya, sehingga diperlukan pengolahan terlebih dahulu sebelum dibuang ke lingkungan. Pengolahan limbah *laundry* dapat dilakukan dengan teknologi membran. Pembuatan membran selulosa diasetat dengan proses ultrafiltrasi telah dilakukan dengan metode infersi fasa menggunakan dimetilformamida (DMF) sebagai pelarut. Hasil filtrasi menunjukkan fluks membran tertinggi adalah 77,408 L/m²h pada TMP 3 bar. Sedangkan fluks terendah pada TMP 1 bar yaitu 55,649 L/m²h. Rejeksi membran ultrafiltrasi untuk parameter COD, fosfat, dan surfaktan masing-masing adalah 67%, 72%, dan 63%.

Kata kunci: fluks, limbah *laundry*, membran selulosa diasetat, rejeksi, ultrafiltrasi

Abstract

The improvement of laundry activity brought a negative effect on the environment because laundry wastewater have a high content pollutants such as phosphate, surfactants, mineral, nitrogen, COD, and other components, so the treatment is needed before being discharged into territorial water. Laundry wastewater treatment has been conducted by membrane technology. Preparation of cellulose diacetate membranes with ultrafiltration process had been done by phase inversion using dimethylformamide (DMF) as a solvent. The filtration experiment showed that the highest membrane flux was 77.408 L/m².h at TMP 3 bar. While the lowest flux at TMP 1 bar was 55.649 L/m².h. Rejection of membrane ultrafiltration for parameters of COD, phosphate, and surfactant were 67%, 72%, and 63% respectively.

Keywords: cellulose diacetate membranes, flux, laundry wastewater, rejection, ultrafiltration

1. Pendahuluan

Dewasa ini banyak industri kecil laundry bermunculan khususnya di daerah Banda Aceh. Hal ini disebabkan semakin meningkatnya jumlah penduduk dan aktivitas yang padat sehingga membutuhkan jasa *laundry* sebagai tempat untuk mencuci pakaian. Munculnya usaha dalam bidang jasa ini memiliki manfaat yang cukup besar bagi perekonomian masyarakat, namun di sisi lain adanya limbah yang dihasilkan dari sisa proses pencucian berpotensi menimbulkan pencemaran. Industri *laundry* dalam prosesnya banyak menggunakan deterjen sebagai bahan pencuci. Penggunaan deterjen yang semakin meluas dikarenakan deterjen mempunyai sifat-sifat pembersih yang efektif dibandingkan dengan sabun biasa. Zat yang dominan terkandung dalam

deterjen adalah senyawa ionik berupa natrium tripolifosfat yang berfungsi sebagai builder dan surfaktan (Wardhana dkk., 2009). Limbah laundry juga mengandung fosfat tinggi sekitar 9,9 ml/l dan nilai COD (*Chemical Oxygen Demand*) sebesar 280 MgO₂/l melebihi baku mutu yang telah ditetapkan sehingga diperlukan pengolahan terlebih dahulu sebelum dibuang ke badan air (Sostar-Turka dkk., 2005).

Penelitian pengolahan limbah laundry terdahulu telah banyak dilakukan seperti menggunakan elektrokoagulasi (Hudori dan Soewando, 2009), *Furnace Bottom Ash*, karbon aktif dari sampah plastik dengan metode *batch* dan kontinyu (Wardhana dkk., 2009). Namun pengolahan menggunakan teknologi membran menarik untuk dikaji karena sangat menjanjikan untuk

penanganan limbah. Membran mampu memisahkan komponen dengan ukuran lebih kecil dari 10 mikron. Membran adalah suatu lapisan tipis yang memisahkan dua fase dan membatasi pengangkutan berbagai bahan kimia secara selektif, hal ini diharapkan komponen-komponen pencemar seperti fosfat, surfaktan, dan kandungan organik lainnya dapat terdegradasi secara maksimal. Dengan teknologi membran diharapkan dapat memanfaatkan air limbah menjadi sesuatu yang bernilai guna dan mengurangi beban pencemaran lingkungan. Keuntungan menggunakan teknologi membran antara lain energi yang dibutuhkan rendah, tidak memerlukan tambahan bahan kimia, tidak menghasilkan kontaminan maupun polutan, memerlukan lahan yang relatif kecil dan bersifat modular sehingga mudah dikombinasikan dengan produk teknologi lain (Mulder, 1996).

Jenis polimer yang banyak digunakan pada pembuatan membran antara lain selulosa beserta turunannya (selulosa asetat), polisulfon, poliamida, poliakrilonitril (Wenten, 1999). Selulosa asetat diperoleh dari hasil asetilasi selulosa berbagai macam sumber seperti selulosa mikrobial (Desiyarni, 2006), pulp Abaka (Radiman, 2008), limbah serbuk gergaji (Suyati, 2008), dan pulp kayu sengon (Rosnelly, 2010). Selulosa asetat dan turunannya seperti selulosa diasetat (SDA) akhir-akhir ini banyak dimanfaatkan sebagai bahan polimer membran karena bahan dasarnya bersifat ramah lingkungan dan dapat diperbaharui. Berdasarkan ulasan di atas, pada penelitian ini penulis mengkaji kinerja membran selulosa diasetat berbasis selulosa pulp kayu sengon dalam pengolahan limbah laundry pada berbagai variasi tekanan transmembran.

2. Metodologi

2.1. Bahan

Bahan-bahan yang digunakan yaitu: membran selulosa diasetat (SDA) berbasis selulosa pulp kayu sengon penelitian terdahulu (Rosnelly, 2010), aquades, konsentrasi SDA 18%, suhu larutan dope 50°C. Limbah laundry yang diambil dari salah satu laundry di kawasan Banda Aceh.

2.2. Alat

Alat yang digunakan yaitu: seperangkat modul ultrafiltrasi sistem *dead end* (merk Advantec, Japan), applicator membran, plat kaca, bak koagulasi, hot plate, erlenmeyer, stop wach, kertas saring, magnetik stirrer,

gelas ukur, kuvet, spektrofotometer UV-VIS 1700 Shimadzu.

2.3. Pembuatan Membran

Pembuatan membran ultrafiltrasi selulosa diasetat (SDA) dari selulosa pulp kayu sengon dilakukan secara inversi fasa. SDA dengan konsentrasi 18% wt dicampur dengan pelarut DMF, dalam erlenmeyer 100 ml dengan menggunakan magnetic stirrer pada rentang waktu 1 - 3 jam pada suhu 50°C hingga diperoleh larutan homogen yang disebut sebagai larutan dope. Larutan tersebut selanjutnya didiamkan sekitar 1 - 2 jam pada kondisi kedap udara guna menghilangkan gelembung udara. Membran diperoleh dengan cara menuangkan larutan dope di atas plat kaca, dan dicetak menggunakan applicator membran dengan batas ketebalan (0,02 mm) sehingga membentuk lapisan tipis. Lapisan tipis tersebut dibiarkan selama 30 detik yang dilanjutkan dengan perendaman hingga terbentuk lapisan tipis membran. Membran yang dicetak sesuai modul filtrasi kemudian dicuci dengan air distilat dalam jumlah besar dan disimpan (Rosnelly, 2010). Selanjutnya membran dilihat koefisien permeabilitasnya.

2.4. Penentuan Fluks

Pengukuran fluks dilakukan dengan mengalirkan aquades menggunakan modul ultrafiltrasi sistem aliran dead end menggunakan membran yang telah dihasilkan. Membran yang digunakan berbentuk flat dengan luas permukaan 12,56 cm² (12,56 x 10⁻⁴ m²) pada berbagai *transmembrane pressure* (TMP). Permeat ditampung di gelas ukur, laju volumetrik permeat diukur dengan mencatat volume permeat dalam selang waktu tertentu. Pengambilan data dihentikan setelah didapat laju permeat yang konstan. Secara sistematis fluks dirumuskan sebagai berikut (Mulder, 1996):

$$J = \frac{V}{A \times t} \quad (1)$$

dimana:

J = Fluks (l/m²-jam)

V = Volume permeat (l)

A = Luas permukaan membran (m²)

t = Waktu (jam)

Limbah *laundry* terlebih dahulu dianalisis meliputi: surfaktan, COD dan fosfat. Proses filtrasi dilakukan dengan cara mengalirkan limbah *laundry* menggunakan 3 variasi tekanan transmembran, yaitu 1; 2; dan 3 bar. Umpam berupa limbah *laundry* dimasukkan dalam tangki umpam, kemudian dialirkan

gas nitrogen hingga mencapai tekanan yang diinginkan dan dibiarkan beberapa waktu hingga diperoleh aliran permeat. Permeat ditampung dalam gelas ukur. Pengambilan data permeat dihentikan setelah diperoleh volume konstan. Permeat dianalisis kadar surfaktan, COD, dan fosfat untuk menentukan kualitas limbah setelah pengolahan menggunakan membran.

Berdasarkan konsentrasi umpan dan permeat tersebut ditentukan tingkat rejeksi dengan menggunakan persamaan (Mulder, 1996):

$$R = 1 - \frac{C_p}{C_f} \times 100\% \quad (2)$$

Dimana:

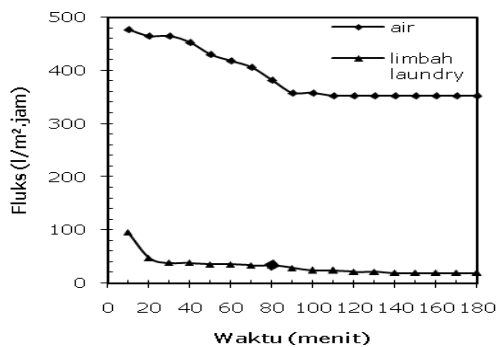
R = persentase rejeksi
 C_f = konsentrasi umpan (*feed*)
 C_p = konsentrasi permeat

Analisis COD menggunakan metode titrimetri, fosfat diukur menggunakan metode spektrofotometer. Analisis surfaktan menggunakan metode Metylen Blue Active Substance (MBAS) (Paquot, 1979).

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Pengaruh Waktu terhadap Fluks Membran

Membran SDA dengan koefisien permeabilitas 351,050 l/m²·jam·atm tergolong jenis proses ultrafiltrasi selanjutnya digunakan dalam pengolahan limbah laundry. Untuk melihat kinerja dari membran SDA terhadap fluks air dan limbah laundry telah dilakukan penelitian dengan waktu pengoperasian selama 3 jam pada TMP 1 bar. Aliran yang digunakan adalah ultrafiltrasi sistem *dead end*. Aliran filtrasi sistem *dead end* yaitu keseluruhan dari aliran umpan melewati membran dan partikel tertahan pada membran. Pengaruh waktu terhadap fluks air dan limbah laundry dapat dilihat pada Gambar 1.

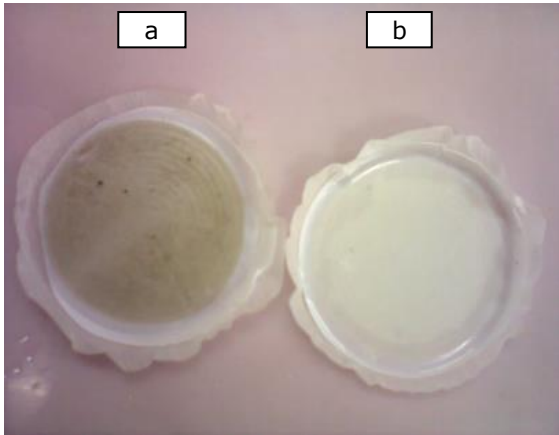


Gambar 1. Pengaruh waktu terhadap fluks membran

Berdasarkan Gambar 1 terlihat bahwa dengan berjalannya waktu maka nilai fluks akan semakin menurun. Nilai fluks air pada awal waktu operasi sebesar 489,551 l/m²·jam sedangkan fluks limbah laundry sebesar 95,522 l/m²·jam. Fluks air pada menit ke 90 hingga ke 180 pada membran terlihat mengalami penurunan yang stabil hingga nilai dari fluks menjadi konstan dengan nilai sebesar 353,342 l/m²·jam. Sementara nilai fluks pada limbah laundry mengalami penurunan yang tajam pada menit ke 20 hingga 47,671 l/m²·jam. Sedangkan pada menit ke 140 sampai dengan 180 fluks yang dihasilkan semakin menurun namun cenderung konstan yakni sebesar 19,104 l/m²·jam. Rendahnya perbandingan fluks laundry yang dihasilkan terhadap fluks air dikarenakan dalam limbah laundry banyak mengandung kontaminan baik yang makromolekul maupun zat organik terlarut lainnya sehingga menyebabkan fouling membran. Padatan tersuspensi merupakan faktor yang mempengaruhi permeabilitas. Partikel kecil seperti organik terlarut, dapat menurunkan permeabilitas melalui adsorpsi langsung ke dalam pori membran (Lee dkk., 2002). Adanya penyumbatan pori (*clogging*) menyebabkan penurunan fluks menjadi lebih tajam hingga mencapai harga tertentu. Fouling ini semakin lama akan semakin meningkat hingga menutupi pori-pori membran dan juga akan menghasilkan penurunan jumlah permeat yang dihasilkan.

Penelitian yang dilakukan oleh Ciabatti dkk. (2009) menyatakan bahwa setelah filtrasi sekitar 20 m³ limbah *laundry*, permeabilitas membran menurun hingga 25% dikarenakan telah terjadi fouling membran oleh adanya adsorpsi surfaktan sisa limbah ke dalam membran. Faktor lain yang menyebabkan fouling membran dikarenakan aliran umpan yang digunakan yaitu sistem *dead end*. dalam filtrasi laminar (*dead end*), aliran umpan tegak lurus ke permukaan membran, sehingga partikel-partikel terakumulasi dan membentuk suatu lapisan pada permukaan membran yang akan menyebabkan menurunnya fluks membran (Nasir dkk., 2012). Limbah laundry yang terus mengalir sebagai umpan akan mengalir melalui tahanan penumpukan partikel dan tahanan membran pada permukaan membran sehingga mudah tersumbat akibat terbentuknya suatu lapisan pada permukaan membran. Pada Gambar 2 dapat dilihat permukaan membran setelah filtrasi menggunakan umpan aquades dan limbah laundry.

Kelemahan dari membran berpori adalah terjadinya fouling membran. Salah satu cara yang dapat dilakukan untuk mencegah fouling yaitu dengan backwash.



Gambar 2. Membran setelah filtrasi menggunakan umpan limbah laundry (a) dan aquades (b)

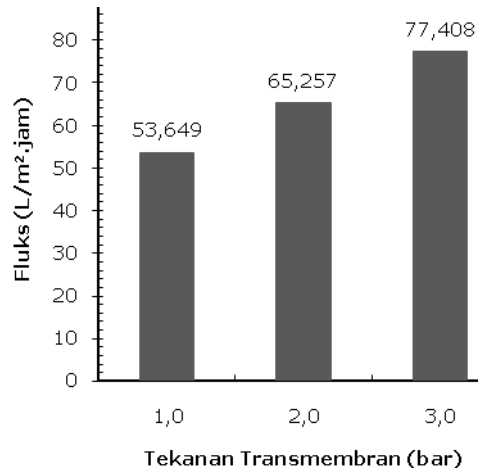
Umumnya membran yang telah mengalami backwash dapat digunakan kembali pada proses pemisahan, walaupun performa dan stabilitasnya sedikit menurun dibandingkan dengan membran yang belum digunakan. Backwash mampu meningkatkan fluks hingga 28,64 l/m²-jam dari fluks akhir 19,09 l/m²-jam akibat fouling setelah pengoperasian selama 1 jam. Untuk menjaga kestabilan kinerja membran maka untuk penelitian selanjutnya disarankan melakukan backwash pada membran yang telah digunakan.

3.2. Hasil Pengolahan Limbah Laundry Menggunakan Membran pada Berbagai Tekanan

Penentuan nilai fluks limbah laundry dilakukan dengan cara mengalirkan umpan dalam modul filtrasi dengan variasi tekanan transmembran (TMP). Pengolahan menggunakan membran SDA dengan konsentrasi 18%, suhu larutan dope 50°C. Hasil analisis fluks limbah laundry pada berbagai tekanan dapat dilihat pada Gambar 3.

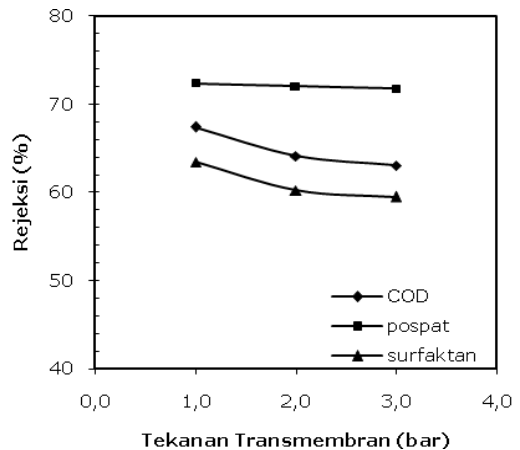
Pada Gambar 3 dapat dilihat bahwa fluks yang dihasilkan pada TMP 3 bar cenderung lebih tinggi, dibandingkan pada TMP 2 dan 1 bar. Fluks tertinggi terdapat pada pada tekanan 3 bar sebesar 77,408 l/m²-jam. Penelitian yang dilakukan oleh Pinem (2011) menunjukkan kecenderungan yang sama, dimana fluks terus meningkat seiring naiknya tekanan transmembran yang diberikan. Tekanan merupakan salah satu faktor

yang mempengaruhi kinerja membran. Ini dikarenakan proses pemisahan dengan membran terjadi akibat adanya gaya dorong.



Gambar 3. Fluks limbah laundry dengan pretreatment adsorpsi pada berbagai tekanan

Kecepatan perpindahan molekul-molekul tersebut ditentukan oleh gaya pendorong yang bekerja dan pergerakan molekul di dalam membran. Gaya pendorong tersebut salah satunya adalah gradien tekanan. Adanya tekanan yang diaplikasikan pada aliran umpan yang melewati membran akan mengakibatkan fluida dengan ukuran partikel yang lebih kecil dari pori membran dapat melewati membran, sementara partikel yang lebih besar seperti kontaminan akan tertahan. Pada TMP rendah terjadi penurunan fluks yang diakibatkan oleh adanya fouling membran. Nilai rejeksi membran didefinisikan sebagai kemampuan suatu membran dalam menahan komponen tertentu pada larutan umpan. Nilai rejeksi pada masing-masing parameter limbah laundry yang diamati dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Hasil rejeksi limbah laundry pada berbagai tekanan transmembran

Tabel 1. Konsentrasi dan rejeksi limbah *laundry* setelah proses filtrasi menggunakan membran

Tekanan (bar)	COD (mg/L)	Rejeksi (%) COD	Fosfat (mg/L)	Rejeksi (%) Fosfat	Surfaktan (mg/L)	Rejeksi (%) Surfaktan
1	150	67,391	4,23	72,407	4,625	63,462
2	165	64,130	4,29	72,016	5,032	60,246
3	170	63,043	4,33	71,755	5,126	59,504

Dari Gambar 4. secara visual terlihat rejeksi fosfat relatif konstan pada berbagai TMP, namun kenyataannya terjadi penurunan rejeksi fosfat dari 72,40% pada TMP 1 bar menjadi 71,76% pada TMP 3 bar. Penurunan rejeksi pada masing-masing TMP juga terjadi pada parameter COD dan surfaktan. Rejeksi COD pada TMP 1, 2 dan 3 bar masing-masing 67,39%, 64,13% dan 63%. Sedangkan parameter surfaktan 63,47%, 60,25%, dan 59,50%. Penurunan rejeksi terjadi seiring dengan meningkatnya TMP. Hal ini dikarenakan pada tekanan tinggi terjadi laju difusi yang tinggi menyebabkan interaksi umpan lebih cepat dan membran sukar menahan umpan yang berdifusi melewati membran sehingga koefisien rejeksi rendah. Tekanan transmbran pada proses ultrafiltrasi berfungsi sebagai *driving force* dan merupakan salah satu parameter operasi yang paling penting pada proses pemisahan membran. Rejeksi tinggi berarti molekul atau partikel terlarut tertahan oleh membran dan tidak dapat berdifusi melawan membran. Kandungan awal limbah dari salah satu industri *laundry* di Banda Aceh untuk parameter COD adalah sebesar 460 mg/L, fosfat 15,33 mg/L dan surfaktan 12,658 mg/L.

Penurunan kandungan limbah *laundry* setelah proses ultrafiltrasi dapat dilihat pada Tabel 1. Konsentrasi akhir COD pada TMP 1, 2 dan 3 bar masing-masing sebesar 150 mg/L, 165 mg/L dan 170 mg/L belum memenuhi baku mutu limbah *laundry* yang diperbolehkan dibuang ke badan air yaitu sebesar 100 mg/L (Hoinkis dan Panten, 2008). Perbedaan konsentrasi COD akhir pada setiap tekanan disebabkan semakin besar tekanan yang diberikan pada membran maka COD yang mampu diserap oleh membran semakin kecil, hal ini kemungkinan disebabkan oleh deposisi pori-pori membran akibat peningkatan tekanan. Untuk konsentrasi akhir fosfat setelah dilewatkan pada membran menjadi 4,23 mg/L pada TMP 1 bar sedangkan pada TMP 2 dan 3 bar masing-masing konsentrasi fosfat adalah 4,29 mg/L dan 4,33 mg/L. Konsentrasi akhir fosfat pada semua tekanan transmbran belum memenuhi syarat dibuang ke badan air yakni sebesar 2 mg/L (Sostar-Turka dkk., 2005). Hasil rejeksi masih rendah dikarenakan jenis proses

ultrafiltrasi belum maksimal mengolah limbah golongan ionik seperti fosfat.

Parameter limbah *laundry* lainnya yang diamati adalah penurunan konsentrasi surfaktan. Menurut Kowalska (2008) lebih dari 80% surfaktan yang digunakan dalam industri *laundry* adalah LAS (*Linier Alkyl Sulfonat*) yang merupakan surfaktan golongan anionik. LAS merupakan surfaktan jenis anionik yang mempunyai ekor hidrofobik melekat pada kepala hidrofilik yang bermuatan negatif. Gugus-gugus bermuatan negatif pada surfaktan anionik biasanya berupa karboksilat, sulfonat, sulfat, atau fosfat, sedangkan gugus hidrofobiknya berupa rantai hidrokarbon alifatik, aromatik, atau gabungan keduanya (Koswig dkk., 1994). Untuk konsentrasi surfaktan akhir pada TMP 1, 2, dan 3 bar berturut-turut 5,62 mg/L; 5,032 mg/L; dan 5,126 mg/L. Kowalska (2008) menyatakan bahwa karena keanekaragaman jenis surfaktan dan sifat fisik serta kimianya maka sulit untuk menerapkan metode tunggal dalam pengolahan limbah *laundry*. Ini berarti bahwa untuk mendapatkan hasil pengolahan yang lebih baik, maka teknologi membran dapat dikombinasikan dengan teknologi pemisahan lainnya seperti adsorpsi.

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian disimpulkan hasil pengolahan limbah *laundry* menggunakan membran selulosa diasetat (SDA) menghasilkan fluks tertinggi pada TMP 3 bar sebesar 77,408 L/m²-jam. Sedangkan persen rejeksi yang diperoleh untuk COD, fosfat dan surfaktan masing-masing sebesar 67%, 72%, dan 63%.

Daftar Pustaka

- Ciabatti, I., Cesaro, F., Faralli, L., Fatarella, E., Tognotti, F. (2009) Demonstration of a treatment system for purification and reuse of laundry wastewater, *Desalination*, 204, 78 - 86.
- Desiyarni (2006) Perancangan proses pembuatan selulosa asetat dari selulosa mikrobial untuk membran ultrafiltrasi,

- Disertasi*, Institut Pertanian Bogor, Bogor.
- Hoinkis, J., Panten, V. (2008) Wastewater recycling in laundries-from pilot to large scale plant, *Journal of Chemical Engineering and Processing*, 47, 1159 - 1166.
- Hudori, Soewando (2009) Pengolahan air limbah laundry dengan menggunakan elektrokoagulasi. *Jurnal Rekayasa Teknologi Industri dan Informasi*, 4, 84 - 89.
- Lee, Y., Cho, J., Seo, Y., Lee, J.W., Ahn, K. (2002) Modeling of submerged membrane bioreactor process for wastewater treatment, *Desalination*, 146, 451 - 457.
- Koswig, K., Huls A. G., Marl. (1994) *Surfactant*, Volume ke-A25, Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry, Federal Republic of Germany, New York.
- Kowalska, I. (2008) Surfactant removal from water solutions by mean of ultrafiltration and ion-exchange. *Desalination*, 221, 351 - 357.
- Mulder, M. (1996) *Basic Principles of Membrane Technology*, 2nd edition, Kluwer Academic Publisher, Dordrecht.
- Nasir, S., Budi, T., Silviaty, I. (2012) Laundry wastewater treatment process using silica activated carbon and ceramic filter, *International Journal of Academic Research*, 4(2), 85 - 89.
- Paquot, C. (1979) *Standard Method for the Analysis of Oils, Fats and Derivatives*. Pergamon Press, England.
- Pinem, J. A. (2011) Sintesis karakterisasi dan penggunaan membran hibrid organik-anorganik untuk pengolahan air gambut, *Laporan Hasil Penelitian, Produk Unggulan Penelitian Dosen*, Universitas Riau, Pekanbaru.
- Radiman, C. L., Yuliani, G. (2008) Penggunaan nata de coco sebagai bahan membran selulosa asetat, *Prosiding Simposium Nasional Polimer V*, Bandung, 22 November, 203 - 208.
- Rosnelly, C. M. (2010) Perancangan proses pembuatan membran ultrafiltrasi selulosa asetat secara inversi fasa dari selulosa pulp kayu sengon (*Paraserianthes Falcataria*), *Disertasi*, Institut Pertanian Bogor, Bogor.
- Sostar-Turka, S., Petrini, I., Simoni, M. (2005) Laundry wastewater treatment using coagulation and membrane, filtration. *Journal Resources, Conservation and Recycling*, 44, 185 - 196.
- Suyati (2008) Pembuatan selulosa asetat dari limbah serbuk gergaji kayu dan identifikasinya, Master Tesis, Institut Teknologi Bandung, Bandung.
- Wardhana, I. W., Handayani, D. W., Rahmawati, D. S. (2009) Penurunan kandungan fosfat pada limbah cair industri pencucian pakaian (laundry) menggunakan karbon aktif dari sampah plastik dengan metode batch dan kontinyu, *Jurnal Teknik*, 30(2), 32 - 38.
- Wenten, I. G. (1999) *Teknologi Membran Industri*, ITB Press, Bandung.