

APLIKASI MEMBRAN *INTERLAYER-FREE* SILIKA-KARBON DARI PEKTIN PADA DESALINASI AIR LAUT UNTUK MENGHASILKAN *POTABLE WATER*

Muthia Elma^{1*}, Mahmud², Via Susetia Putri², Noni Handayani², Aulia Rahmah²

¹ Program Studi Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Lambung Mangkurat, Jl. A. Yani Km. 36 Banjarbaru, Indonesia

² Program Studi Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik, Universitas Lambung Mangkurat, Jl. A. Yani Km. 36 Banjarbaru, Indonesia

*Penulis koresponden: melma@ulm.ac.id

Abstrak

Air laut merupakan sumber air yang paling berpotensi untuk mengatasi krisis air bersih karena jumlahnya sangat besar mencapai 71% dari luas permukaan bumi. Namun, sebagian besar air tersebut mengandung garam yang tinggi sehingga perlu diolah secara khusus untuk dapat dikonsumsi. Membran *interlayer-free* silika-karbon dari pektin merupakan salah satu teknologi desalinasi yang berpotensi untuk dikembangkan dalam pengolahan air laut menjadi *potable water*. Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi morfologi dari membran *interlayer-free* silika-pektin dan mengukur performa membran *interlayer-free* silika-pektin pada proses desalinasi air laut. Pelapis membran silika-karbon berbahan pektin dibuat dari proses sol-gel menggunakan campuran TEOS (*tetraethyl orthosilicate*), etanol dan dual katalis asam (HNO_3) dan basa (NH_3) pada suhu dan 50 °C selama 3 jam. *Thin film* ini ditambahkan larutan pektin dan gliserol dengan konsentrasi 0,5% dan 2,5% pada suhu 0 °C. Kemudian *thin film* ini di-*dipcoating* menggunakan membran *support alumina substrate* sebanyak 4 layer menggunakan *dipcoater* dan dikalsinasi pada suhu 400 °C. Selanjutnya membran dianalisis morfologinya menggunakan SEM (*Scanning Electron Microscope*). Proses desalinasi via pervaporasi dari membran silika-pektin ini dilakukan pada air laut artifisial (3,5% NaCl) dengan variasi suhu umpan 25 °C dan 40 °C. Parameter yang diukur adalah fluks dan rejeksi garam. Hasil penelitian menunjukkan bahwa semakin tingginya suhu umpan maka semakin tinggi juga nilai fluks yang dihasilkan. Fluks air tertinggi diperoleh pada suhu umpan 40 °C yakni pada semua membran silika-pektin 0,5% ($1,55 \text{ kg m}^{-2} \text{ h}^{-1}$) dan 2,5% ($1,53 \text{ kg m}^{-2} \text{ h}^{-1}$). Hal menarik lain adalah pada suhu ruang (25 °C) dimana fluks air yang dihasilkan dari membran silika-pektin konsentrasi 0,5% cukup tinggi yakni hanya 7,6% lebih rendah dibandingkan dengan suhu 40 °C. Selain itu rejeksi garam pada semua membran *interlayer-free* silika-pektin semuanya sangat bagus dan mendekati nilai 100%.

Kata Kunci: membran, silika-karbon, pektin, air laut

1. PENDAHULUAN

Air laut merupakan sumber air yang paling berpotensi untuk mengatasi krisis air tawar karena jumlahnya yang sangat besar dan sanggup menutupi 71% permukaan bumi. Salah satu sumber yang berpotensi dijadikan sumber air bersih adalah air laut. Elma *et al.* (2012) mengatakan konsentrasi air laut adalah sebesar 3,5 % (b/b). Air laut memiliki nilai TDS yaitu 20.000-50.000 ppm, kandungan maksimal 500 *part per million* (ppm) dapat langsung dikonsumsi manusia sehingga air laut perlu diolah menjadi air tawar. Menurut Nugroho (2004) Indonesia memiliki potensi menggunakan membran sebagai sarana desalinasi untuk pengolahan air bersih. Membran juga memiliki distribusi ukuran pori yang kecil, berukuran mikro, konsumsi energi yang rendah dan hanya menghasilkan sedikit polusi untuk lingkungan (Arief *et al.* 2013). Menurut Refinel *et al.* (2016) membran anorganik memiliki sifat termal yang baik dan ketahanan kimia dibanding dengan membran organik (Refinel *et al.* 2016). Widayanti

(2013) juga mengatakan bahwa membran anorganik banyak digunakan karena ketahanannya pada suhu tinggi. Pengaplikasian membran keramik mengalami peningkatan yang pesat dikarenakan kemampuannya yang baik dalam proses pemisahan. Oleh sebab itu, banyak riset memfokuskan pada pengembangan membran anorganik dan aplikasinya (Hristov *et al.* 2012).

Elma *et al.* (2015a) mengatakan, saat ini proses desalinasi air garam (air payau, air laut dan air bekas tambang) menjadi teknologi yang paling populer, dikarenakan prosesnya yang sederhana. Desalinasi air laut dapat dilakukan dengan proses pemisahan membran seperti reverse osmosis (RO), membran distilasi (MD) atau pervaporation (PV) (Elma *et al.* 2013). Akan tetapi proses menggunakan reverse osmosis (RO), membran distilasi (MD) masih mahal. Namun desalinasi melalui proses pervaporasi memiliki beberapa keuntungan yaitu konsumsi energi relatif rendah dan murah untuk diterapkan (Elma *et al.* 2018b). Berdasarkan uraian di atas maka dipilihlah desalinasi menggunakan

proses pervaporasi dalam mengolah air laut menggunakan membran *interlayer-free* silika-pektin. Silika dipilih karena struktur silika relatif stabil dalam rentang temperatur yang luas hingga 1000 °C (Puspayana & Damayanti 2013), namun karena sifat silika yang hidrofilik sehingga perlu adanya penyisipan material organik untuk meningkatkan stabilitas membran silika. Bahan silika terutama dikombinasikan dengan material organik telah dilaporkan sebagai hidro stabilitas yang baik dalam proses desalinasi (Elma *et al.* 2018a). Maulana (2015) mengatakan pektin berfungsi sebagai bahan perekat antara dinding sel yang satu dengan yang lainnya, Isdayanti *et al.* (2016) juga mengatakan pektin merupakan senyawa polimer yang dapat mengikat air, membentuk gel atau mengentalkan cairan. Desalinasi merupakan proses pemisahan garam terlarut yang ada di dalam air. Menurut Elma (2016) dan Rangkuti (2016) pervaporasi dikenal sebagai suatu teknik pemisahan dalam umpan berupa cairan berdasarkan kemudahan cairan tersebut untuk menguap sebagian zat melalui membran *permselective* yang berpori. Prinsip kerja dari alat yang digunakan dalam penelitian adalah dengan cara mendorong air umpan dengan tekanan tertentu pada suhu 25 °C dan 40 °C.

1. METODE

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah tertaethyl orthosilicate (TEOS), pektin apel ($C_6H_{10}O_7$, Sigma-Aldrich), akuades, etanol 99% (EtOH), asam nitrat (HNO_3 , Merck), membran support *macroporous $\alpha-Al_2O_3$ tubular*, ammonia (NH_3 , Merck), gliserol dan nitrogen cair

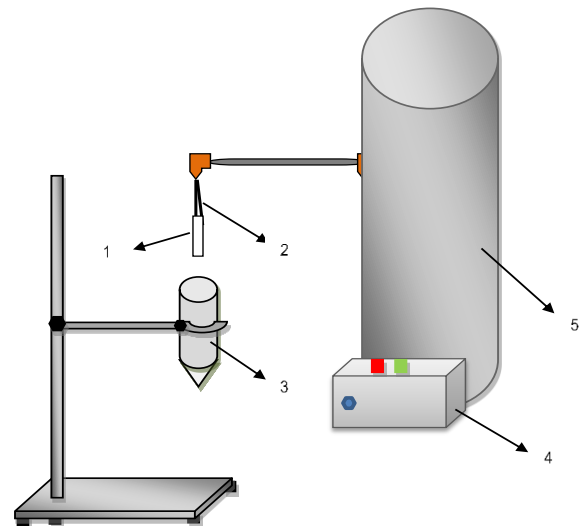
1.1 Pembuatan Silika-pektin Sol

Ethanol dicampurkan dengan TEOS pada suhu 0 °C, diaduk selama 5 menit. Selanjutnya ditambahkan HNO_3 0,00078 N pada suhu 50 °C dan direfluks selama 1 jam. Kemudian ditambahkan NH_3 0,0003 N dan direfluks kedua selama 2 jam pada kondisi yang sama. Selanjutnya didapatkan sol silika dengan pH 6. Sol gel yang digunakan yaitu mempunyai nilai pH 6. Kemudian dilakukan penambahan pektin sebanyak 0,5 % (b/b) dan 2,5 % (b/b) yang telah dilarutkan dengan gliserol ke dalam silika sambil diaduk 360 rpm selama 45 menit pada suhu 0°C.

1.2 Dipcoating dan Kalsinasi

Proses *dipcoating* dilakukan menggunakan alat *dipcoater* seperti pada Gambar 1, dengan cara

mencelupkan membran support ke dalam sol silika-pektin dengan laju pencelupan 10 cm/menit dengan waktu tinggal 2 menit, kemudian ditarik dengan kecepatan 5 cm/menit, selanjutnya membran dikalsinasi menggunakan *furnace* selama 1 jam pada temperatur 400 °C. Proses *dipcoating* dan kalsinasi ini diulang sebanyak 4 kali. Membran dikarakterisasi dengan analisa *Scanning Electron Microscope* (SEM).



Keterangan: 1. Penjepit; 2. Membran Support; 3. Botol centrifuge; 4. Controler; 5. Dipcoater

Gambar 1. Rangkaian alat *dipcoating*

1.3 Desalinasi melalui Proses Pervaporasi

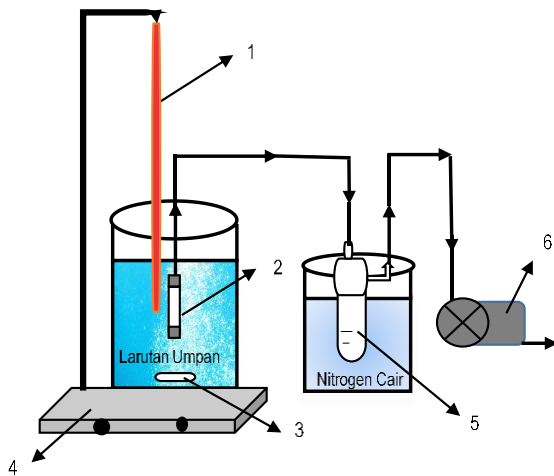
Alat pervaporasi dirangkai seperti pada Gambar 1. Pervaporasi menggunakan membran silika-pektin 0,5% suhu kalsinasi 400 °C pada air laut (3,5 % (b/b)) dengan *room temperature* (~25 °C) dan 40 °C. Pertama sisi bawah membran diblokir (mode *dead-end*) dan direndam pada larutan umpan air laut (3,5 % (b/b)). Suhu (25 °C dan 40 °C) dari larutan umpan akan dipertahankan dan diukur oleh termometer. Kemudian *cold trap* akan diletakkan ke dalam tabung wadah yang berisi nitrogen cair lalu dihubungkan ke membran dan *vacuum pump*. Konduktivitas dari larutan permeat diukur dengan *conductivity meter*.

2. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Morfologi Membran

Untuk mengetahui struktur morfologi dengan struktur mikroskopis dari membran silika-pektin diobservasi dengan analisis SEM (*Scanning*

Electron Microscopy) yang ditunjukkan pada Gambar 3.



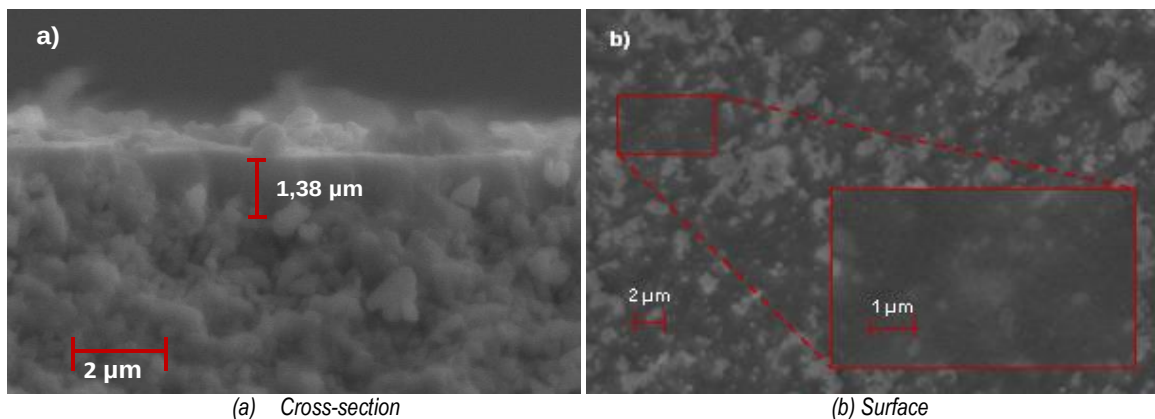
Keterangan: 1. Termometer; 2. Membran Silika-Pektin; 3. Stirrer; 4. Hotplate; 5. Cold trap; 6. Vacuum Pump

Gambar 2. Rangkaian alat pervaporasi

Gambar 3 menunjukkan perwakilan mikrostruktur dari membran silika-pektin 0,5% suhu kalsinasi 400 °C. Pada gambar 3 (a) menunjukkan *cross-section* membran. Morfologi membran menunjukkan bahwa adanya perbedaan luasan pori-pori dari membran *support* terhadap pori-pori *layer* pada permukaan membran, Elma *et al.* (2018a) dan Elma *et al.* (2018c) mengatakan membran *support* berbentuk tubular dengan ukuran pori 100 nm, sedangkan menurut Elma (2016) ukuran *thin film*

silika untuk desalinasi 2-50 nm. Dengan adanya *dipcoating* 4 *layer* silika-pektin pada membran, efek infiltrasi diamati dengan jelas sehingga pori-pori menjadi ukuran mikropori, Elma (2016) mengatakan ukuran mikropori yaitu < 2 nm. *Dipcoating* silika-pektin 4 *layer* menghasilkan *thin film* dengan ketebalan 1,38 µm, lapisan *thin film* pada penelitian ini lebih tebal dibandingkan dengan penelitian Elma *et al.* (2015b) yaitu ketebalan hanya 1 µm pada *thin film* P123. Hal tersebut terjadi karena proses kalsinasi yang digunakan pada penelitian ini adalah teknik RTP (Rapid thermal processing), berbeda Elma *et al.* (2015b) dengan yang menggunakan CTP (Conventional Thermal Processing).

Gambar 3 (b) Surface, menunjukkan tampak permukaan membran. Morfologi membran menunjukkan bahwa adanya cakupan permukaan yang baik dan lapisan atas tampak homogen sementara tidak menunjukkan retak permukaan. Hal ini disebabkan karena adanya perbedaan ukuran pori antara membran *support* dan lapisan *thin film* silika-pektin sehingga sol gel mengisi ruang pada permukaan pori membran *support*. Namun, lapisan atas secara signifikan mempunyai struktur permukaan yang tidak mulus seperti adanya batu-batu partikel yang menonjol pada permukaan membran *support*. Yang *et al.* (2016) mengatakan setelah *dip-coating*, sol mengisi makropori substrat antara rongga-rongga partikel α-Al₂O₃ yang membentuk struktur kaku setelah pengeringan dan karbonisasi pada 400 °C.



Gambar 3. SEM images Silika-pektin 0,5 % suhu kalsinasi 400 °C

3.2 Fluks Air dan Rejeksi Garam

Perhitungan fluks air digunakan untuk mengetahui banyak air yang dihasilkan. Nilai fluks membran

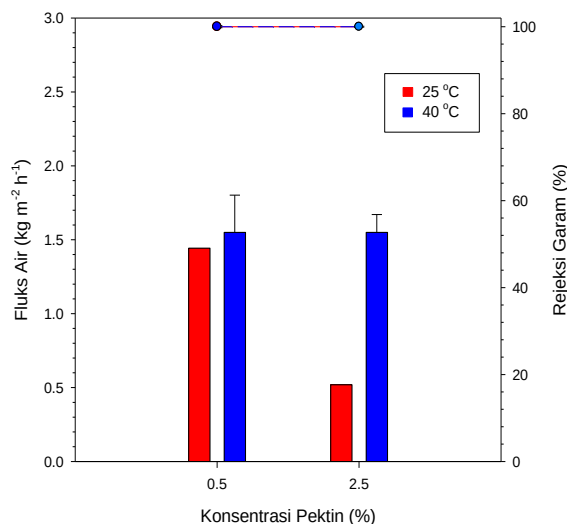
berbanding lurus dengan suhu dan tekanan. Fluks dihitung dengan persamaan ini Elma *et al.* (2018a):
$$F = m / (A \Delta t) \quad (1)$$

Dalam hal ini F adalah fluks air ($\text{kg m}^{-2} \text{h}^{-1}$), m adalah massa permeat (kg), A adalah luas permukaan aktif membran (m^2) dan Δt adalah waktu pervaporasi.

Perhitungan rejeksi garam untuk mengetahui perbandingan jumlah konsentrasi garam pada umpan dengan konsentrasi garam pada permeat (hasil desalinasi) (Zahratunnisa *et al.*, 2016). Rejeksi garam, R (%) dihitung dengan persamaan sebagai berikut (Elma *et al.* 2018a):

$$R = (C_f - C_p) / C_f \times 100\% \quad (2)$$

Dimana R adalah nilai rejeksi kontaminan setelah melewati membran (%), C_f adalah konsentrasi umpan (% berat), C_p adalah konsentrasi permeat (% berat).



Gambar 4. Performa Membran *Interlayer-Free* Silika-Pektin dengan konsentrasi pektin yang berbeda pada suhu 25 dan 40 °C

Gambar 4 menunjukkan performa konsentrasi pektin 0,5 % dan 2,5 % kalsinasi 400 °C sebagai

fungsi dari temperatur umpan pada proses desalinasi air laut (3,5 % (b/b)). Penelitian Elma *et al.* (2018b) menunjukkan bahwa fluks air dilakukan pada suhu ruangan, 40 °C dan 60 °C masing-masing adalah 0,33-0,61; 0,54-0,76; dan 0,84–1,19 $\text{kg m}^{-2} \text{h}^{-1}$, dan rejeksi garam masing-masing sebesar 99,95-84,23; 99,95-93,23; dan 84.95-69,91%. Elma *et al.* (2018b) menjelaskan bahwa fluks air meningkat bila kenaikan suhu, sebaliknya rejeksi garam mengalami penurunan ketika suhu meningkat. Membran silika-pektin 0,5% pada suhu umpan 25 °C dan 40 °C menghasilkan fluks air masing-masing sebesar 1,44 $\text{kg m}^{-2} \text{h}^{-1}$; 1,5496 $\text{kg m}^{-2} \text{h}^{-1}$ sedangkan membran silika-pektin 2,5% pada suhu 25 °C dan 40 °C menghasilkan fluks air masing-masing 0,519 $\text{kg m}^{-2} \text{h}^{-1}$; 1,526 $\text{kg m}^{-2} \text{h}^{-1}$. Dengan meningkatnya suhu umpan, fluks air juga meningkat. Membran silika-pektin 0,5% menghasilkan fluks air yang lebih besar dibanding dengan membran silika-pektin 2,5%. Elma *et al.* (2015b) mengatakan meningkatkan suhu umpan bertujuan untuk peningkatan tekanan uap dari umpan ke sisi permeat, sehingga meningkatkan kekuatan pendorong sehingga meningkatkan fluks air.

Menurut Elma *et al.* (2015b) untuk mengatasi kinerja pemisahan yang rendah, penambahan *template* karbon di dalam membran silika bertujuan meningkatkan rejeksi garam. Dilaporkan dari penelitian Elma *et al.* (2015b) rejeksi garam mencapai 99,5% untuk semua suhu dan konsentrasi garam. Sedangkan pada penelitian ini *template* karbon didapatkan dari pektin kulit apel, nilai rejeksi garam pada semua pengujian mendekati nilai 100%, artinya membran mampu menghilangkan hampir seluruh kandungan garam yang terlarut di dalam air laut. Dari hasil yang diperoleh dapat disimpulkan bahwa, kandungan pektin yang ada pada permukaan membran mempengaruhi kinerja membran dalam fluks air yang dihasilkan.

Table 1. Performa membran

Tipe membran	Umpan	Fluks Air ($\text{kg.m}^{-2}.\text{h}^{-1}$)	Rejeksi garam (%)	Referensi
Silika-pektin 0,5%	3,5	1,44-1,5496	>99	Penelitian ini
Silika-pektin 2,5% (b/b)	3,5	0,519-1,526	>99	Penelitian ini
Membran Silika P123	3,5	~0,5	>98	Elma <i>et al.</i> (2015b)
Membran Silika P123	Air Asin	1,25	96,22	Elma <i>et al.</i> (2018a)
Silika mesopori kobalt	0,3	0,6	>90	Elma <i>et al.</i> (2015a)

Fluks tertinggi dihasilkan oleh membran silika-pektin 0,5% (b/b) pada suhu 25 °C dan 40 °C masing-masing yaitu 1,44 dan 1,5496 $\text{kg.m}^{-2}.\text{h}^{-1}$

dengan rejeksi mendekati nilai 100 % (Tabel 1). Penelitian ini menggunakan dua katalis asam dan basa, menurut Elma *et al.* (2017) mengatakan

membran dengan silika sol pH 6 cenderung membentuk mesopori yang baik dalam memisahkan garam dalam larutan umpan. Elma *et al.* (2015b) mengatakan silika murni membran terbukti tidak stabil untuk desalinasi. Membran silika pada penelitian Elma *et al.* (2015b) dan Elma *et al.* (2015a) silika dengan menyisipkan kobalt (C-20) dengan template P123-20 menghasilkan fluks air sangat rendah. Hal ini karena struktur membran tampak didominasi oleh struktur silika *microporosity*. serta polarisasi terjadi pada permukaan membran yang lebih besar, sedangkan rejeksi garam pada semua jenis membran > 90 %.

4. SIMPULAN

Silika-pektin sol dibuat menggunakan metode sol gel, sol pH 6 dipilih untuk mengasalkan pori berukuran mesopori. Dipcoating silika-pektin dilakukan sebanyak 4 layer menghasilkan *thin film* dengan ketebalan 1,38 μm . Performansi silika-pektin 0,5% lebih baik dibandingkan dengan silika-pektin 2,5 %. Hal ini ditunjukkan dengan nilai fluks air, membran silika pektin 0,5 % menghasilkan fluks air masing-masing sebesar 1,44 $\text{kg m}^{-2} \text{h}^{-1}$; 1,5496 $\text{kg m}^{-2} \text{h}^{-1}$ pada suhu umpan 25 °C dan 40 °C. Suhu umpan berpengaruh terhadap fluks air, semakin tinggi suhu maka semakin tinggi pula fluks air yang dihasilkan. Suhu 40 °C merupakan suhu optimum pada kedua membran. Rejeksi garam kedua membran pada suhu 25 °C dan 40 °C mendekati nilai 100%.

5. UCAPAN TERIMA KASIH

Kami mengucapkan terimakasih kepada hibah dari Direktorat Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat Kementerian Riset Teknologi Dan Pendidikan Tinggi melalui Hibah Pasca Doktor tahun 2017-2018, hibah PNPB Pascasarjana Universitas Lambung Mangkurat tahun 2018 dan Hibah Australian Award melalui Alumni Grants Scheme Batch 2 tahun 2018.

6. DAFTAR PUSTAKA

Arief S, Nasmiati D, Imelda. 2013. Studi Membran anorganik berbahan dasar dari alam serta potensinya sebagai filter. *Prosiding Semirata FMIPA Universitas Lampung*. 401-405.
Elma M. 2016. *Proses Pemisahan Menggunakan Teknologi Membran*. Lambung Mangkurat University Press. Banjarbaru.
Elma M, Assyaifi ZL, Hairullah. 2017. Pembuatan silika *thin film* sebagai pelapis membran dari prekursor

TEOS (*Tetra Ethyl Orthosilicate*). *Jurnal Inovasi Pendidikan Sains*. 8(2): 78-82.
Elma M, Fitriani, Rakhman A, Hidayati. R. 2018a. Silica P123 Membranes for desalination of wetland saline water in South Kalimantan. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 175. 012007. 1755-1315.
Elma M, Hairullah, Assyaifi ZL. 2018b. Desalination process via pervaporation of wetland saline water. *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*. 175. 1-6.
Elma M, Riskawati N, Marhamah. 2018c. Silica membranes for wetland saline water desalination: performance and long term stability. *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*. 175. 1-7.
Elma M, Wang DK, Yacou C, Motuzas J, Costa JCD. 2015a. High Performance interlayer-free mesoporous cobalt oxide silica membranes for desalination applications. *Desalination*. 365. 308–315.
Elma M, Wang DK, Yacou C, Costa JCD. 2015b. Interlayer-Free P123 Carbonised template silica membranes for desalination with reduced salt concentration polarisation. *Journal of Membrane Science* 475. 376-383.
Elma M, Yacou C, Costa JCD, Wang DK. 2013. Performance and long term stability of mesoporous silica membranes for desalination. *Journal Membranes*. 3:136-150.
Elma, M., Yacou, C., Wang, D. K., Smart, S. and Costa, J. C. D. d. 2012. Microporous Silica Based Membranes for Desalination. *Journal Water*. 4. 628-649. 2073-4441.
Hristov, P., Yoleva, A., St.Djambazov, Chukovska, I. and Dimitrov, D. 2012. Preparation and Characterization of Porous Ceramic Membranes for Micro-Filtration From Natural Zeolite. *Journal of the University of Chemical Technology and Metallurgy*. 47. (4). 476-480.
Isdayanti M, Rasidi MI, Elma M. 2016. Pektin dari kulit pisang kepok (*Musa paradisiaca linn*) sebagai edible film and coating. *Seminar Nasional Industri Kimia dan Sumber Daya Alam*. 93-98.
Maulana S. 2015. *Ekstraksi dan Karakterisasi Pektin dari Limbah Kulit Pisang Uli (Musa paradisiaca L. AAB)*. Program Studi Farmasi. Universitas Islam Negeri Syarif Hidayatullah. Jakarta.
Nugroho, A. 2004. Uraian umum tentang teknologi desalinasi. *Jurnal Pengembangan Energi Nuklir* 6 (3&4): 65-75.
Pusparyana DR, Damayanti A. 2013. Pengolahan Limbah cair tahu menggunakan membran nanofiltrasi silika aliran *cross flow* untuk menurunkan kadar nitrat dan amonium. *Jurnal Teknik Pomits* 2(2): D87-D91..
Rangkuti FA. 2016. Aplikasi proses pervaporasi. *Teknik Kimia, ITB*. 1-6.
Refinel TON, Usmita RM. 2016. Proses ultrafiltrasi untuk penjernihan sari buah markisa (*Passiflora quadrangularis*) dengan Memanfaatkan membran keramik. *Jurnal Riset Kimia* 9(2): 36-41.

- Widayanti N. 2013. Skripsi: Karakterisasi membran selulosa asetat dengan variasi komposisi pelarut aseton dan asam format. *Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam*. Universitas Jember.
- Yang H, Elma M, Wang DK, Motuzas J, Costa JCD. 2016. Interlayer-Free Hybrid carbon-silica membranes for processing brackish to brine salt solutions by pervaporation. *Journal of Membrane Science* 1-22.
- Zahratunnisa, Hidayah N, Rezki MR, Sari DP, Dewi N, Elma M. 2016. Studi Pengaruh kalsinasi tanah lempung gambut terhadap aktivasi pada proses desalinasi air. *Prosiding Seminar Nasional Industri Kimia dan Sumber Daya Alam*. 160-165.
-