

## ORGANO SILICA MEMBRANE FOR DESALINATION OF ARTIFICIAL ACID MINE DRAINAGE

**Muthia Elma<sup>\*</sup>, Norlian Ledyana Sari, Dhimas Ari Pratomo**  
Program Studi Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Lambung Mangkurat  
Jl. A. Yani Km. 36, Banjarbaru, Kalimantan Selatan Indonesia 70714

<sup>\*</sup>E-mail corresponding author: melma@ulm.ac.id

ARTICLE INFO	ABSTRACT
<p><i>Article history:</i> Received: 16-02-2019 Received in revised form: 24-02-2019 Accepted: 27-03-2019 Published: 19-04-2019</p> <hr/> <p><i>Keywords:</i> Brine water Flux Reflux Salt rejection Pervaporation</p>	<p><i>Acid water treatment is urgently needed to assist in the availability of clean water. Water treatment technology is one of them is using membrane technology (organo-silica membrane) by desalination technique. The purpose of this study was to determine the performance of organo silica membrane using organic catalyst. To make thin film as membrane coating (sol-gel method) with precursor tetra ethyl orthosilicate (TEOS). Thin film is then in dipcoating to membrane support of 4 layers and calcined at a temperature of 200, 250 and 600 °C. The desalination technique used is a pervaporation process using artificial brine water (5%, 7,5%, 10% and 15%) as feed water. The results showed that the value of water flux is 0.39; 0.44 and 0.82 kg m<sup>-2</sup> h<sup>-1</sup> (for thin film membranes using temperature 50°C) with salt rejection values of ~ 100% for each membrane. The value of this water flux is respectively for the membrane calcined at a temperature of 200, 250 and 600 °C). From the results of water flux and salt rejection found that the calcined membrane at 600°C gives the highest water flux value even though all membrane gives salt rejection value approaching 100%). This type of membrane is likely to give a somewhat larger pore size because the carbon content already bonded to the silica structure is perfectly decomposed at high temperatures, thereby increasing the size of the pores of the silica structure. The size of these pores causes the value of water flux to be higher.</i></p>

### TEKNOLOGI MEMBRAN *ORGANO-SILICA* UNTUK DESALINASI AIR ASAM TAMBANG

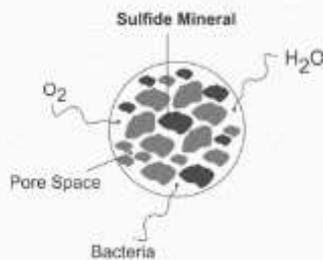
**Abstrak-** Pengolahan air asam tambang merupakan pengolahan air yang sangat dibutuhkan untuk membantu ketersediaan air bersih. Teknologi pengolahan air ini salah satunya adalah menggunakan teknologi membran (membran organo-silica) secara teknik desalinasi. Tujuan penelitian ini adalah untuk menentukan performansi organo silica membrane menggunakan katalis organik. Untuk membuat thin film sebagai pelapis membran digunakan metode sol-gel dengan precursor tetra ethyl orthosilicate (TEOS). Thin film ini selanjutnya di dipcoating ke membrane support sebanyak 4 layer dan dikalsinasi pada suhu 200, 250 dan 600 °C. Teknik desalinasi yang digunakan adalah berupa proses pervaporasi dengan menggunakan artificial brine water (5%, 7,5%, 10% dan 15%) sebagai air umpan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai water flux adalah sebesar 0.39; 0.44 dan 0.82 kg m<sup>-2</sup> h<sup>-1</sup> (untuk thin film membran yang menggunakan suhu 50°C) dengan nilai salt rejection sebesar ~100 % untuk setiap membran. Nilai water flux ini berturut-turut untuk membran yang dikalsinasi pada suhu 200, 250 dan 600 °C). Dari hasil water flux dan salt rejection diketahui bawa membran yang dikalsinasi pada suhu 600°C memberikan nilai water flux tertinggi walaupun semua membrane memberikan nilai salt rejection yang mendekati 100%). Jenis membrane ini berkemungkinan memberikan ukuran pori-pori yang agak besar karena kandungan carbon yang sudah terikat pada struktur silika sudah terdekomposisi sempurna pada suhu tinggi, sehingga menambah besar ukuran pori-pori dari struktur silika. Ukuran pori-pori ini menyebabkan nilai water flux menjadi lebih tinggi.

**Kata kunci:** *Brine water, flux, reflux, salt rejection, pervaporasi*

## PENDAHULUAN

### Air Asam Tambang

Pencemaran air asam tambang terbentuk karena adanya mineral sulfida yang tersingkap akibat kegiatan penggalian dan penimbunan batuan penutup. Mineral sulfida tersebut kontak dan teroksidasi oleh oksidator utama yakni oksigen dan membentuk produk-produk oksidasi. Produk-produk oksidasi tersebut kemudian terlindi oleh adanya air (air hujan). Hal ini menyebabkan peningkatan keasaman di badan air penerima yang ditandai dengan rendahnya nilai pH. Selain peningkatan keasaman, pembentukan air asam tambang juga menyebabkan peningkatan terhadap konsentrasi logam-logam terlarut di badan air penerima. Mineral sulfida merupakan mineral yang secara alami berdasarkan proses pembentukannya sudah terkandung didalam batuan. Mineral yang menjadi sumber pembentuk air asam tambang ini berpotensi dapat ditemukan di area penambangan baik tambang batubara maupun mineral (emas, *lead*, *zinc*, dll). (Abfertiawan, 2016).



**Gambar 1.** Komponen Pembentukan Air Asam Tambang (Abfertiawan, 2016)

Terdapat beberapa jenis mineral yang menyebabkan terbentuknya air asam tambang ditunjukkan pada tabel berikut ini.

**Tabel 1.** Mineral Sulfida Pembentuk Air Asam Tambang

Mineral	Formula
Pyrite	FeS <sub>2</sub>
Pyrrotite	Fe <sub>1-x</sub> S
Bornite	Cu <sub>5</sub> FeS <sub>4</sub>
Arsenopyrite	FeAsS
Enargite	Cu <sub>3</sub> As <sub>4</sub> /Cu <sub>3</sub> Sb <sub>4</sub>
Realgar	AsS
Orpiment	As <sub>2</sub> S <sub>3</sub>
Stibnite	Sb <sub>2</sub> S <sub>3</sub>
Tennantite	(Cu,Fe,Zn) <sub>12</sub> As <sub>4</sub> S <sub>13</sub> /( Cu,Fe,Zn) <sub>12</sub> Sb <sub>4</sub> S <sub>13</sub>

### Teknologi Membran

Membran secara umum dapat didefinisikan sebagai lapisan tipis semipermeabel yang berfungsi sebagai alat pemisah berdasarkan sifat fisiknya. Proses pemisahan pada membran pada hakekatnya

merupakan perpindahan materi secara selektif yang disebabkan oleh gaya dorong yang berhubungan dengan parameter penentu antara dua media yang dipisahkan seperti perbedaan potensial listrik ( $\Delta E$ ), gradien tekanan ( $\Delta P$ ), gradien konsentrasi ( $\Delta C$ ) dan gradien temperatur ( $\Delta T$ ). Teknologi membran mempunyai beberapa keunggulan dibandingkan dengan proses pemisahan lainnya. Beberapa diantaranya hemat energi, bersih, relatif tidak menimbulkan limbah dan kemampuannya untuk memisahkan larutan-larutan yang peka terhadap suhu. Penelitian ini menggunakan membran dengan film lapisan yang dikalsinasi pada suhu tinggi mencapai 600 °C untuk memantapkan struktur dari silika. Film silika yang dari suhu tinggi menghasilkan fluks yang benar-benar rendah (Elma *et al.* 2012).

### Membran Silika

Membran adalah suatu bahan berupa lapisan tipis semipermeabel yang berguna sebagai pemisah dua fluida yang memiliki perbedaan konsentrasi, tekanan dan temperatur (Kuswaya and Hercahyo, 2001). Membran silika dapat digunakan sebagai pemisah molekul garam pada air laut yang mana pengolahannya telah dikembangkan menggunakan metode *sol-gel* (Nomura *et al.*, 2004). Membran silika memiliki fleksibilitas yang besar dengan film yang sangat tipis (sekitar 250 nm) dengan ukuran pori yang terkontrol (Wang *et al.*, 2017). Membran silika merupakan membran anorganik yang memiliki sifat fisik yang kuat, stabil terhadap panas dan struktur pori yang seragam dan memiliki sifat kimia yaitu tahan terhadap korosif (McCool *et al.*, 2003).

### Desalinasi Air

Desalinasi merupakan proses untuk mengurangi mineral yang terlarut dalam air laut menjadi air tawar dengan konsentrasi maksimum 500 ppm (Mahmoud *et al.*, 2016). Ada beberapa jenis desalinasi yaitu secara termal dan membran. Pada proses desalinasi termal, larutan garam tersebut dipanaskan agar terjadi penguapan kemudian air uap terkondensasi untuk menghasilkan air tawar. Kekurangan dari proses desalinasi termal ini adalah memerlukan energi yang besar selama proses operasinya, sehingga sangat mahal dan menghasilkan emisi gas rumah kaca. Sedangkan pada desalinasi membran menggunakan *filter* semi-permeabel yang dapat menahan molekul garam dengan cara pemberian tekanan, sehingga yang lolos dari membran adalah air bersih. Desalinasi membran menggunakan energi yang relatif sedikit dan hemat biaya dibandingkan desalinasi termal (Wang *et al.*, 2017).

## Pervaporasi

Pervaporasi adalah salah satu teknologi pemisahan membran yang digunakan untuk memulihkan senyawa organik cair menjadi uap dengan cara mengurangi tekanan pada sisi *permeate*-nya (Araki et al., 2016). Pervaporasi dapat digunakan untuk pemisahan campuran cairan yang bersifat *azeotrop*, lebih menyukai membran polimer, konsentrasi air yang sangat rendah (Pina et al., 2011) dan titik didih campuran yang berdekatan (Chen et al., 2017). Pervaporasi bekerja dengan menggunakan perbedaan potensial kimia antara umpan dan *permeate* pada sisi membran (Jee et al., 2016). Umpan berupa campuran bahan organik yang memiliki titik didih yang berdekatan dan pemisahan berdasarkan kelarutan umpan pada membran sehingga digunakannya membran rapat yang selektif terhadap salah satu komponen umpan (Aisyah et al., 2012). Proses pemisahan menggunakan teknologi pervaporasi terjadi dengan mekanisme difusi larutan yang berlangsung dalam tiga tahap berturut-turut yaitu sorpsi, difusi dan desorpsi. Tahap sorpsi dan difusi adalah tahap yang paling penting untuk melihat kinerja dari membran yang digunakan (Kuswaya and Hercayo, 2001).

## METODE PENELITIAN

### Alat dan Bahan

Alat utama yang digunakan adalah botol reagen, *hot plate*, *stirrer*, oven, *furnace*, *thermometer*, pH meter, gelas beker, gelas ukur, botol semprot, pipet tetes, *petridish*, botol *centrifuge*, *vacuum pump*, *cold trap*, selang *waterpass*, labu ukur, labu leher tiga, kondensor, *micropipet*, corong, neraca analitik, wadah, statif dan klem. Bahan-bahan yang digunakan untuk penelitian ini adalah TEOS, Et-OH, C<sub>6</sub>H<sub>8</sub>O<sub>7</sub>, NH<sub>3</sub>, *microporous alumina substrates* (( $\alpha$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> *tubular support* ( $\varnothing$ E100 nm)), *Ceramic Oxide Fabricates Australia*), *plastic wrap*, *aluminium foil*, akuades dan sampel air asam tambang artifisial.

### Proses Pembuatan Silica Sol-gel

Pertama yaitu menimbang TEOS sebanyak 18,66 gram dan C<sub>6</sub>H<sub>8</sub>O<sub>7</sub> sebanyak 8,0699 gram. Selanjutnya memasukkan 20 mL EtOH kedalam labu leher tiga. Kemudian me-*reflux* EtOH selama 5 menit pada suhu 0°C. Setelah 5 menit, meneteskan sedikit demi sedikit larutan TEOS, dan me-*reflux* larutan selama 5 menit pada suhu 0°C. Langkah selanjutnya, meneteskan sedikit demi sedikit larutan asam sitrat 0,001N. Setelah itu, memanaskan larutan pada suhu 50°C, kemudian me-*reflux* kembali selama 1 jam. Meneteskan sedikit demi sedikit larutan NH<sub>3</sub> 0,0003N. Me-*reflux sol-gel* silika selama 2 jam,

kemudian mendinginkannya pada suhu ruangan. Setelah dingin, mengukur pH *sol-gel* silika yang terbentuk. Selanjutnya *thin film* ini akan dioven dan dikarakterisasi serta dianalisis dengan uji FTIR.

### Membrane Support Dipcoating

Menuangkan 25 mL *silica sol-gel* ke dalam tabung *centrifuge*, kemudian meletakkannya di atas erlenmeyer. Menjepit *membrane support* pada alat *dipcoater*. Mengatur *dipcoater* pada kecepatan *up-down* 5 cm/s dengan waktu rendam 2 menit. Menyalakan *dipcoater* kemudian memulai *dipcoating* pada *membrane support* ke dalam *silica sol-gel*. Mengalirasi *membrane support* yang telah di-*dipcoating* dengan *silica sol-gel* pada suhu 200 °C selama 1 jam. Mendinginkan *membrane support* terlapsi pada suhu ruangan, kemudian mengamati perubahannya. Mengulangi langkah-langkah tersebut sebanyak 4 kali untuk masing-masing sampel. Kemudian langkah diulangi untuk suhu kalsinasi 250 °C dan 600 °C dan dikarakterisasi serta dianalisis dengan uji SEM.

### Proses Pervaporasi

Langkah pertama yaitu membuat larutan garam dengan melarutkan natrium klorida (NaCl) dengan akuades dengan rentang konsentrasi 5% sampai 15% berat, kemudian memasukkan masing-masing ke dalam tangki umpan yang terbuka agar kondisinya atmosferik dan suhu kamar. Selanjutnya, merangkai alat pervaporasi. Memulai pervaporasi pada membran suhu kalsinasi 200 °C pada sampel air asam tambang dengan terus mengaduk larutan garam agar konsentrasi larutannya tetap. Langkah berikutnya yaitu menentukan fluks air yang dapat ditentukan dengan persamaan  $F = m/(A \cdot \Delta t)$ , dimana  $m$  adalah massa *permeate* (kg) yang terperangkap dalam *cold trap*,  $A$  adalah luas permukaan aktif (m<sup>2</sup>) dan  $\Delta t$  adalah waktu pervaporasi. Menentukan *salt rejection* R(%) yang didapatkan dari  $R = (C_f - C_p)/C_f \times 100\%$ , dimana  $C_f$  dan  $C_p$  adalah konsentrasi garam pada umpan dan *permeate* (% berat). Terakhir yaitu menentukan konduktivitas dari larutan *permeate* yang dapat ditentukan dengan *conductivity meter* (Elma et al. 2013). Langkah diulangi pada suhu kalsinasi 250 °C dan 600 °C.

### Analisis

Analisis yang digunakan yaitu adalah karakterisasi SEM (*Scanning Electron Microscopy*) yaitu untuk mengetahui morfologi, struktur permukaan dan ketebalan membran silika pada 4 *layer* dan karakterisasi FTIR (*Fourier Transform Infra Red*) digunakan untuk mengetahui gugus fungsi pada silika sol.

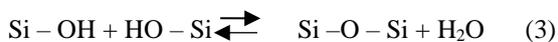
## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Silica Sol

Silika sol merupakan hasil akhir pada proses pembuatan sol dengan metode *sol-gel* dengan mereaksikan *precursor* TEOS (*Tetraethyl orthosilicate*) dalam etanol dan dengan bantuan katalis asam dan basa yaitu asam sitrat dan amonia. Pada pembuatan silika sol, terjadi beberapa tahapan proses yaitu hidrolisis, kondensasi alkohol dan kondensasi air. Pada *reflux* pertama, terjadi pembentukan silanol (Si – OH) pada kondisi asam (pH ~ 4) dengan proses hidrolisis yaitu ketika *precursor* TEOS dilarutkan ke dalam larutan etanol dan akan terhidrolisis dengan penambahan air dan katalis asam sitrat. Hidrolisis ini akan menggantikan gugus alkoksi (-OR) dengan gugus hidroksi (-OH). Selama proses hidrolisis berlangsung, gugus (-OR) dari TEOS akan bereaksi dengan molekul air, sehingga akan membentuk silanol. Adapun reaksinya dapat dilihat pada persamaan berikut ini.



Pada *reflux* kedua, terjadi pembentukan *siloxane* (Si – O – Si) dengan proses kondensasi. Hasil dari reaksi hidrolisis yaitu (Si – OH) akan bereaksi kembali dengan TEOS dan dengan dibantu katalis basa (amonia) sehingga terjadi kondensasi alkohol dan menghasilkan *siloxane*. Penambahan amonia ini akan meningkatkan nilai pH lebih besar dari 4. Pada reaksi ini, etanol yang dihasilkan berlebih sehingga terjadi kembali proses pembentukan *siloxane* dengan reaksi kondensasi air. Adapun reaksi yang terjadi dapat dilihat pada persamaan berikut ini.



Hasil dari proses *sol-gel* ini akan menghasilkan silika sol yang memiliki nilai pH 6. pH 6 merupakan pH yang optimum karena pada pH ini akan menghasilkan pori-pori membran yang *mesoporous* (Elma et al., 2013), yang mana ukuran porinya lebih besar dibandingkan dengan ukuran molekul air namun lebih kecil bila dibandingkan dengan ukuran molekul garam. Menurut penelitian (Elma et al., 2013), pada pH yang lebih tinggi akan mengandung banyak *siloxane* sehingga pori-pori membran akan lebih besar dan sol yang dihasilkan lebih *viscous* yang akan menyebabkan proses pembentukan *gel* yang cepat. Pada pH rendah, kandungan silanol lebih banyak dibandingkan

*siloxane*, sehingga mengakibatkan pori-pori membran yang lebih kecil. Oleh karena itu, pH 6 dipilih pada penelitian ini. Pada penelitian ini, dihasilkan *silica sol* yang bening dan tidak terlalu *viscous*, sehingga dapat digunakan untuk melapisi membran *support*.

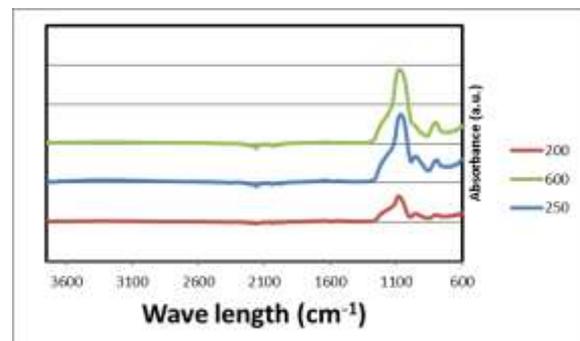
Berikut gambar membran yang telah dilapisi dengan sol silika *reflux* 50 °C dan dikalsinasi pada suhu 200 °C, 250 °C dan 600 °C.



**Gambar 2.** (a) Membran Kalsinasi Suhu 200 °C (b) Membran Kalsinasi Suhu 250 °C dan (c) Membran Kalsinasi Suhu 600 °C

### Karakterisasi Xerogel

Silanol dan *siloxane* merupakan dua gugus fungsi yang diketahui dapat mempengaruhi ukuran pori-pori membran. Untuk mengetahui kedua gugus fungsi tersebut, maka dilakukan analisis FTIR (*Fourier Transform Infra Red*) Adapun hasil dari analisis FTIR dapat dilihat pada gambar berikut ini.



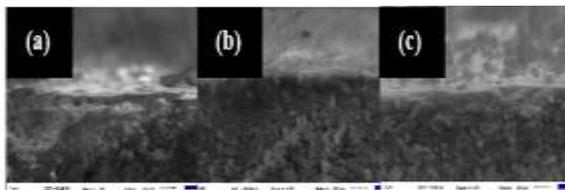
**Gambar 3.** Analisa FTIR Pada Membran Suhu Kalsinasi

Berdasarkan Gambar 3 dapat dilihat beberapa puncak yang menandakan adanya gugus *siloxane* (Si-O-Si) pada panjang gelombang 1100 cm<sup>-1</sup> dan 800 cm<sup>-1</sup>. Kemudian ditemukan puncak yang lain yang merupakan gugus silanol (Si – OH) pada panjang gelombang 1050 cm<sup>-1</sup>. Dari hasil ini dapat dilihat bahwa silika sol yang dihasilkan mengandung silanol yang lebih sedikit jika dibandingkan dengan *siloxane*. Silanol memiliki ukuran pori yang kecil (*microporous*) jika dibandingkan dengan *siloxane* yang memiliki ukuran pori yang lebih besar (*mesoporous*). Silanol dan *siloxane* ini bagaikan *bottle neck* (Elma et al., 2015) yang mana silanol berperan untuk menghalangi partikel garam yang melewati membran dan *siloxane* berperan untuk

memperkuat dan menyangga struktur membran sehingga dapat memperkuat membran. Kombinasi antara silanol dan *siloxane* ini akan menghasilkan pemisahan yang bagus antara molekul garam dan air, sehingga performa membran menjadi lebih bagus.

### Morfologi Membran

Morfologi membran bertujuan untuk mengetahui ketebalan pada membran. Pada saat *dipcoating* pertama, silika sol akan melapisi pori-pori membran *support* yang lebih besar, sehingga akan membuat membran *support* lebih kuat. Hal ini dapat dilihat pada Gambar 4 yang ditandai dengan warna putih yang merupakan proses *infiltrate* silika sol pada membran *support*. *Dipcoating* kedua akan membentuk lapisan pertama pada membran *support*, begitu pula seterusnya. Berikut ini merupakan hasil analisis SEM dapat dilihat pada gambar berikut ini.



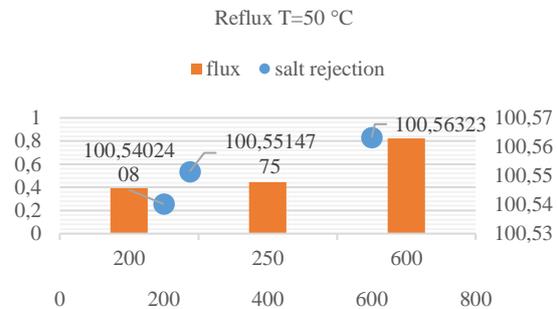
**Gambar 4.** (a) Membran Kalsinasi 200 °C (b) Membran Kalsinasi 250 °C dan (c) Membran Kalsinasi 600 °C

Pada Gambar 4 dapat dilihat ketebalan membran silika 4 *layer* pada perbesaran 5000x diperkirakan memiliki ketebalan ~1,5  $\mu\text{m}$ . Hasil yang didapat pada penelitian ini lebih tebal jika dibandingkan pada penelitian (Elma et al., 2013) dengan ketebalan membran ~470 nm. Hal ini dikarenakan proses kalsinasi pada RTP (*Rapid Thermal Process*) yang dilakukan lebih singkat dari pada CTP (*Conventional Thermal Process*) yang dilakukan oleh (Elma et al., 2013) karena pada proses RTP tidak menggunakan *heating rate* dan *cooling rate* seperti yang dilakukan pada proses CTP. Ini menyebabkan proses evaporasi pelarut yang terdapat dalam silika sol kurang sempurna dan dimungkinkan sisa-sisa pelarut masih melekat pada *thin layer membrane* tersebut sehingga menyebabkan lapisan membran menjadi lebih tebal. Selain itu juga disebabkan karena saat proses kalsinasi langsung dilakukan pada suhu tinggi, sehingga pelarut yang berada dalam *silica sol (thin film)* yang melapisi pada membran *support* tidak sempurna menguap karena kenaikan suhu yang secara mendadak.

### Performansi Membran

Performa membran silika pada proses desalinasi dapat dilihat dari nilai *water flux* dan

*salt rejection* yang diperoleh. Semakin tinggi nilai *water flux* dan *salt rejection* maka kemampuan dalam mendesalinasi juga tinggi. Pada penelitian ini, membran akan diuji pada konsentrasi *feed* 5%-15% (*brine water*). Berikut adalah grafik yang menunjukkan nilai *water flux* dan *salt rejection* pada membran kalsinasi 200 °C, 250 °C dan 600 °C.



**Gambar 5.** Hubungan antara *Water Flux* dan *Salt Rejection* terhadap Membran Kalsinasi 200 °C, 250 °C dan 600 °C pada *feed* 5%-15%

Berdasarkan Gambar 5 dapat dilihat bahwa pada membran kalsinasi 200 °C dengan konsentrasi *feed* 5%-15% (*brine water*), nilai *water flux* rata-rata sebesar 0,393717 kg m<sup>-2</sup> h<sup>-1</sup> dan *salt rejection* rata-rata sebesar 100,5402408%. Pada membran kalsinasi 250 °C nilai *water flux* rata-rata sebesar 0,443908 kg m<sup>-2</sup> h<sup>-1</sup> dan *salt rejection* rata-rata sebesar 100,5515%. Pada membran kalsinasi 600 °C nilai *water flux* rata-rata sebesar 0,823447 kg m<sup>-2</sup> h<sup>-1</sup> dan *salt rejection* rata-rata sebesar 100,5632%. Pada membran kalsinasi 200 °C mendapatkan nilai *water flux* dan *salt rejection* terendah dan pada membran kalsinasi 600 °C mendapatkan nilai *water flux* dan *salt rejection* tertinggi.

Pada membran kalsinasi 600 °C memiliki nilai *salt rejection* tertinggi dikarenakan perlakuan pemanasan berpengaruh terhadap hasil *salt rejection*. Peningkatan nilai rejeksi ini juga berlaku seiring dengan lamanya waktu pemanasan yang diberikan. Adanya perlakuan pemanasan ini akan meningkatkan kinerja membran karena menyebabkan terjadinya pengaturan molekul-molekul membran sehingga lebih stabil. Semakin tinggi suhu pemanasan serta semakin lama waktu perlakuan pemanasan terhadap membran, pori-pori membran akan mengalami penyusutan sehingga menjadi lebih rapat. Akibatnya pori-pori membran mengalami penyempitan yang kemudian meningkatkan nilai rejeksi membran.

Faktor-faktor yang mempengaruhi *water flux* dan *salt rejection* yaitu konsentrasi *feed*, jumlah *layer* dan perlakuan pemanasan (suhu kalsinasi). Semakin tinggi konsentrasi *feed*, maka nilai *water flux* dan *salt rejection* akan rendah. Semakin banyak jumlah *layer* dan tinggi perlakuan pemanasan maka nilai *water flux* yang dihasilkan

akan rendah dan nilai *salt rejection* yang dihasilkan tinggi.

## KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan maka dapat disimpulkan bahwa pada membran suhu kalsinasi 600 °C memiliki performa terbaik karena menghasilkan nilai rata-rata *water flux* dan *salt rejection* tertinggi yaitu sebesar 0,823447 kg m<sup>-2</sup> h<sup>-1</sup> dan 100,5632%.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Direktorat Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat Kementerian Riset Teknologi Dan Pendidikan Tinggi Melalui Hibah Pasca Doktor tahun 2017-2018 dan Ibu Muthia Elma, ST, M.Sc., Ph.D selaku dosen pembimbing penelitian.

## DAFTAR PUSTAKA

- ABFERTIAWAN, M.S. 2016. *Model Transport Air Asam Tambang Melalui Pendekatan Daerah Tangkapan Air*. Disertasi Doktor, Institut Teknologi Bandung.
- AISYAH, Y., HASTUTI, P., SASTROHAMIDJOJO, H. & HIDAYAT, C. 2012. Teknologi Pervaporasi Untuk Peningkatan Kadar Patchouli Alkohol Minyak Nilam Menggunakan Membran Selulosa Asetat. *Agritech*, 32.
- ARAKI, S., GONDO, D., IMASAKA, S. & YAMAMOTO, H. 2016. Permeation properties of organic compounds from aqueous solutions through hydrophobic silica membranes with different functional groups by pervaporation. *Journal of Membrane Science*, 514, 458-466.
- CHEN, M., WU, X., SOYEKWO, F., ZHANG, Q., LV, R., ZHU, A. & LIU, Q. 2017. Toward improved hydrophilicity of polymers of intrinsic microporosity for pervaporation dehydration of ethylene glycol. *Separation and Purification Technology*, 174, 166-173.
- ELMA, M., WANG, D. K., YACOU, C., MOTUZAS, J. & COSTA, J. C. D. D. 2015. *High Performance interlayer-free Mesoporous Cobalt Oxide Silica Membranes for Desalination Application*. *Desalination*, 308-315.
- ELMA, M., YACOU, C., COSTA, J. C. D. D. & WANG, D. K. 2013. Performance and Long Term Stability of Mesoporous Silica Membranes for Desalination. 3, 136-150.
- JEE, K. Y., KIM, N. & LEE, Y. T. 2016. The effect of metal complex on pervaporation performance of composite membrane for separation of n-butanol/water mixture. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, 44, 155-163.
- KUSWAYA, W. & HERCAHYO, H. 2001. Karakteristik Membran Pada Pemisahan Campuran MTBE-Metanol Dengan Teknik Pervaporasi. *Laboratorium Teknologi Polimer dan Membran Jurusan Teknik Kimia*.
- MAHMOUD, A. E., MAHMOUD, O. E. & FATOUH, M. 2016. Development of design optimized simulation tool for water desalination system. *Desalination*, 398, 157-164.
- MCCOOL, B. A., HILL, N. & DICARLO, J. 2003. Synthesis and Characterization of Mesoporous Silica Membranes Via Dip-Coating and Hydrothermal Deposition Techniques. *Journal of Membrane Science*, 218, 55-67.
- NOMURA, M., ONO, K., GOPALAKRISHNAN, S., SUGAWARA, T. & NAKAO, S.-I. 2004. Preparation of a Stable Silica Membrane by a Counter Diffusion Chemical Vapor Deposition Method. *Journal of Membrane Science*, 251, 151-158.
- PINA, M. P., MALLADA, R., ARRUEBO, M., URBIZTONDO, M., NAVASCUÉS, N., DE LA IGLESIA, O. & SANTAMARIA, J. 2011. Zeolite films and membranes. Emerging applications. *Microporous and Mesoporous Materials*, 144, 19-27.
- WANG, S., WANG, D. K., SMART, S. & DINIZ DA COSTA, J. C. 2017. Improved stability of ethyl silicate interlayer-free membranes by the rapid thermal processing (RTP) for desalination. *Desalination*, 402, 25-32.