EVALUASI KINERJA MEMBRAN SILIKA PEKTIN UNTUK DESALINASI AIR PAYAU TERHADAP SUHU KALSINASI MEMBRAN

EVALUATION OF SILICA PECTIN MEMBRANE PERFORMANCE FOR BRACKISH WATER DESALINATION TOWARD THE EFFECT OF MEMBRANE CALCINATION TEMPERATURE

Muthia Elma [1,3], Mahmud[2], Fitri Ria Mustalifah[2,3], Akhbar[2,3], Lilis Suryani[2,3], Amalia Enggar Pratiwi[1,3], Dhiyaur Rahmah[1,3], Nur Baity[1,3]

[1]*Program Studi Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Lambung Mangkurat, Jl. A. Yani KM 36, Banjarbaru, Indonesia 70714*

[2]*Program Studi Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik, Universitas Lambung Mangkurat, Jl. A. Yani KM 36, Banjarbaru, Indonesia 70714*

[3]*Materials and Membranes Research Group (M^2ReG), Fakultas Teknik, Universitas Lambung Mangkurat Jl. A. Yani KM 36 Banjarbaru 70714, Kalimantan Selatan*

E-mail: melma@ulm.ac.id

ABSTRAK

Krisis air bersih khususnya di Kalimantan Selatan pada musim kemarau sering terjadi karena adanya intrusi air laut yang mengakibatkan air menjadi payau. Konsentrasi garam tinggi yang tidak sesuai baku mutu air bersih mengharuskan perlu adanya pengolahan. Oleh karena itu, proses desalinasi melalui pervaporasi menjadi pilihan untuk memisahkan kadar garam yang terlarut dalam air. Proses desalinasi dilakukan menggunakan membran silika yang dimodifikasi dengan menambahkan karbon dari pektin pisang untuk memperkuat struktur pori dan meningkatkan hidrostabilitas membran. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kinerja membran silika-pektin pisang dengan metode pervaporasi (PV) menggunakan umpan air payau (NaCl 0,3 wt%) pada suhu ruang (~25°C). Bahan utama pada pembuatan membran ini adalah tetraethyl orthosilicate (TEOS). Membran silika-pektin pisang dengan konsentrasi 1% dikalsinasi pada suhu 300°C dan suhu 400°C melalui teknik RTP (Rapid Thermal Processing). Nilai fluks membran pada suhu kalsinasi 300°C sebesar 4,5 kg.m^{-2}.jam^{-1} dengan nilai rejeksi garamnya sebesar 99,64 %. Sedangkan pada membran dengan suhu kalsinasi 400°C menghasilkan nilai fluks sebesar 13,2 kg.m^{-2}.jam^{-1} dengan nilai rejeksi garam sebesar 99,78%. Kinerja kedua membran menunjukkan hasil yang sangat baik pada suhu kalsinasi 400°C dikarenakan adanya pengaruh penyisipan karbon dalam matriks silika sehingga pori yang terbentuk lebih kuat.

Kata kunci: air payau, desalinasi air payau, membran silika-pektin, pektin pisang, pervaporasi.

ABSTRACT

South Kalimantan during the dry season has been clean water scarcity, due to the sea water intrusion which formed brackish water. High salt concentration in brackish water is does not meet with clean water quality standards that necessary to processing before used. Therefore, the desalination process via pervaporation has chosen to separate the dissolved salt ions in water. The desalination process was carried out using a modified silica membrane by carbon

templated from banana pectin to strengthen the pore structure and increase membrane hydro-stability. This work aims to determine the performance of banana silica-pectin membrane by pervaporation (PV) method, using brackish water (NaCl 0,3 wt%) at room temperature (~25°C). The main ingredient to make this membrane is tetraethyl orthosilicate (TEOS). Banana silica-pectin membrane with a concentration of 1% was calcined at 300 ° C and 400°C via RTP (Rapid Thermal Processing) technique. The water flux of membrane calcined at 300°C is 4,5 kg.m^{-2}.h^{-1} with the salt rejection of 99,64%. Whereas the membrane in calcined temperature of 400°C produced a water flux of 13,2 kg.m^{-2}.h^{-1} with a salt rejection of 99,78%. An excellent performance of both membranes showed at calcination temperature of 400°C due to the influence of carbon template in the silica matrices that makes the pores more robust.

Keywords: banana pectin, brackish water, brackish water desalination, pervaporation, silica-pectin membrane.

1. PENDAHULUAN

Minimnya air bersih yang tersedia di musim kemarau menjadi permasalahan serius yang belum terselesaikan dengan baik, khususnya di Kalimantan Selatan. Air bersih haruslah air yang layak untuk digunakan untuk pemenuhan kebutuhan sehari-hari. Air merupakan salah satu aspek penting dalam keberlangsungan hidup manusia (Nurcahyono dkk., 2015). Beberapa daerah di Indonesia masih mengalami kekurangan air bersih akibat akses yang sulit sehingga belum terfasilitasinya air bersih. Masyarakat yang berdomisili di sekitar pesisir pantai umumnya memanfaatkan air permukaan seperti air rawa/sungai sebagai pemenuhan air bersih. Pesisir pantai sering kali terjadi intrusi air laut yang menyebabkan air menjadi payau (Elma dkk., 2020). Air payau memiliki pH 7-9 dan berwarna keruh serta memiliki konsentrasi garam yang cukup tinggi yaitu 0,5–30 ppm (Amin dan Sari, 2015). Pengolahan air dengan kadar garam tinggi menjadi air bersih menggunakan teknologi membran melalui proses desalinasi menjadi solusi yang ditawarkan (Elma dan Saputro, 2020a)

Proses desalinasi pada air payau dapat dilakukan dengan metode pervaporasi (Elma dkk., 2019b) Desalinasi via pervaporasi (PV) adalah proses pemisahan yang terjadi dalam fase cairan menjadi fase uap melalui membran (Elma dan Assyaifi, 2018). Pada proses pervaporasi, air umpan dilewatkan secara langsung dalam keadaan air umpan dipanaskan menjadi fase uap pada kondisi vakum (tanpa adanya udara). Sebagaimana penelitian yang dilakukan oleh (Elma dkk., 2019a) bahwa desalinasi via pervaporasi mampu menghasilkan rejeksi garam hingga >99%. Oleh sebab itu, penentuan metode yang digunakan serta jenis membran sangat menentukan hasil akhir pada pengolahan air payau.

Membran anorganik berbasis silika telah banyak dikembangkan oleh para ahli karena memiliki kekokohan, mudah dibersihkan dan memiliki ketahanan yang baik terhadap suhu tinggi (Elma dkk., 2013b). Selain itu, teknik pembuatan membran silika yang mudah dan murah serta memiliki sifat menyaring partikel yang sangat baik menjadi keunggulan lain dari membran ini. Akan tetapi, membran silika memiliki kelemahan dalam kemampuan hidrostabilitas setelah diaplikasikan pada waktu yang lama akibat kontak pori membran dengan molekul air (Yang dkk., 2017). Oleh karena itu, dilakukan modifikasi dengan

menambahkan karbon pada gugus membran sehingga memperkuat matriks silika dengan ikatan karbon yang menjadikan hidrostabilitas membran silika meningkat (Elma dkk., 2015b) Ikatan karbon dapat diperoleh dengan menambahkan pektin pada sol membran (Elma dkk., 2019b)

Pektin dapat diperoleh dari tanaman pangan seperti buah-buahan dan sayuran. Pektin dapat diperoleh dengan cara mengekstraksi kulit dari buah pisang. Penelitian yang dilakukan oleh Tuhuloula dkk. (2013) menyebutkan bahwa kandungan pektin pada kulit pisang ambon sebesar 14,89% menggunakan pelarut HCl dengan waktu ekstraksi selama 2 jam. Sehingga mendorong peneliti untuk memanfaatkan kulit pisang sebagai sumber pektin. Terlebih limbah kulit pisang sangat mudah diperoleh di wilayah Kalimantan Selatan. Sebelumnya telah dilakukan penelitian penambahan pektin dari apel pada membran *interlayer-free* oleh (Rampun dkk., 2019) dengan kadar pektin apel sebesar 10-15 % dari massa kering (Hastuti, 2016). Oleh karena itu, pektin dari kulit pisang dapat menjadi alternatif lain sebagai sumber karbon yang dapat dimanfaatkan dalam fabrikasi membran silika. Penelitian juga difokuskan untuk mengetahui performa dari membran silika-pektin pisang menggunakan air payau artifisial pada suhu operasi 25°C.

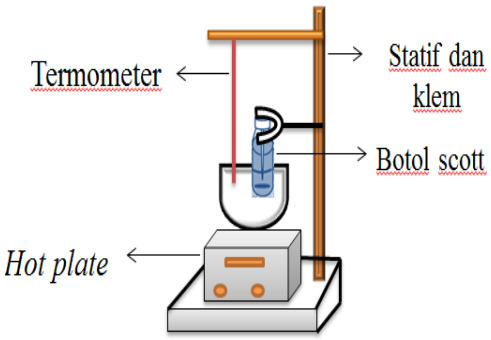
2. METODE PENELITIAN

2.1 Alat dan Bahan

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Teknologi Proses, Program Studi Teknik Kimia, Universitas Lambung Mangkurat. Adapun tahapan penelitian terdiri dari pembuatan membran silika-pektin pisang dan diaplikasikan menggunakan umpan air payau (NaCl 0,3 wt%) dengan proses pervaporasi. Alat-alat yang digunakan pada penelitian ini adalah erlenmeyer, blender, pengaduk, penyaring, oven, *hot plate*, *magnetic stirrer*, statif dan klem, neraca analitik, termometer, pipet tetes, mikropipet, sudip, petridish, botol *schott*, alu & mortar, selang *waterpass*, pompa vakum, botol *centrifuge*, pH meter (Hanna), *dipcoater*, *furnace* dan set up pervaporasi. Bahan-bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah *tertaethyl orthosilicate* (TEOS), pektin kulit pisang etanol 99% (EtOH), asam Nitrat (HNO_3, Merck), ammonia 25% (NH_3, Merck), gliserol, membrane support macroporous α-Al_2O_3 tubular, nitrogen cair dan akuades,

2.2 Pembuatan Sol Silika-pektin Pisang

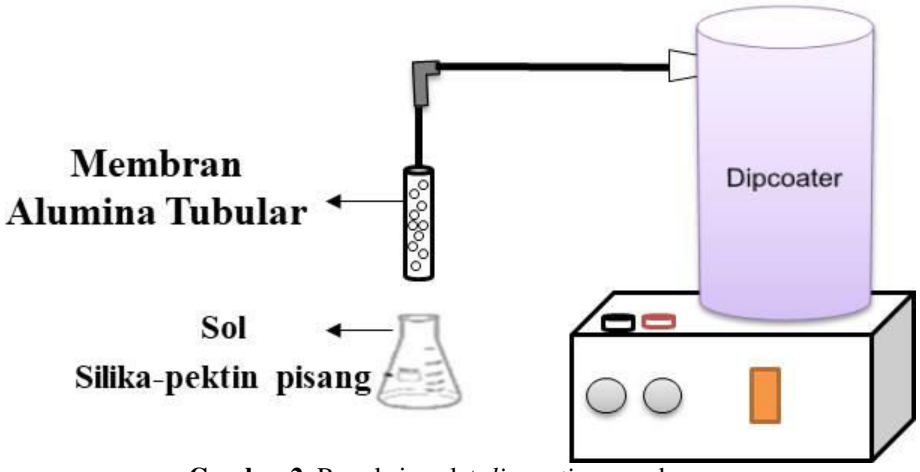
Mengacu pada penelitian oleh (Elma dkk., 2019; Elma dkk., 2012). Setelah didapatkan pH ±6 maka sol silika-pektin dihomogenkan dengan karbon template dari pektin pisang. Pektin pisang dengan konsentrasi 1% dilarutkan dengan gliserol dan dilakukan pengadukan selama 45 menit di suhu 0° sehingga didapatkan sol membran silika-pektin pisang.



Gambar 1. Rangkaian alat pembuatan metode sol-gel

2.3 Proses *Dipcoating* dan Kalsinasi Membran

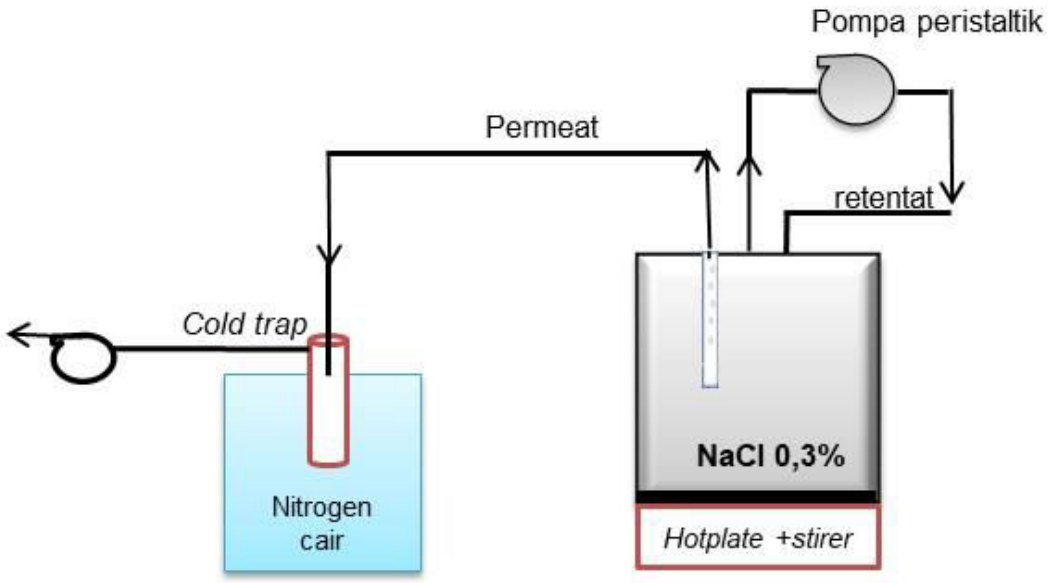
Proses pelapisan membran *(dipcoating)* dilakukan menggunakan membran *support* yang dicelupkan pada sol silika-pektin untuk mendapatkan thin film pada membran. Pencelupan dilakukan selama 2 menit perendaman. Selanjutnya, membran di kalsinasi pada suhu 300°C dan 400°C selama 1 jam menggunakan metode RTP *(Rapid Thermal Proscessing)*. Pengulangan proses dipcoating dilakukan sebanyak 4 kali untuk mendapatkan 4 layer pada membran.



Gambar 2. Rangkaian alat *dipcoating* membran

2.4 Proses Pervaporasi

Performa membran silika-pektin pisang pada penelitian ini dilakukan dengan proses pervaporasi menggunakan umpan air payau artifisial (konsentrasi garam 0,3% (b/b) melalui system pervaporasi yang dirangkai seperti pada Gambar 3.



Gambar 3. Rangkaian alat pervaporasi

Pervaporasi berlangsung dalam kondisi vakum. Selanjutnya, permeat yang dihasilkan akan terkumpul dalam *cold trap*. Penentuan kinerja membran diketahui melalui nilai fluks air dan rejeksi garam yang dihasilkan. Adapun penentuan nilai fluks air dapat menggunakan persamaan

$$F = \frac{A}{dt} \quad \ldots (1)$$

dengan F merupakan fluks permeat (kg.m^{-2}.jam^{-2}), dt merupakan waktu pervaporasi, m adalah massa permeat (kg) dan A adalah luasan permuakaan aktif membran (m^2). Sedangkan nilai rejeksi garam dapat menggunakan persamaan

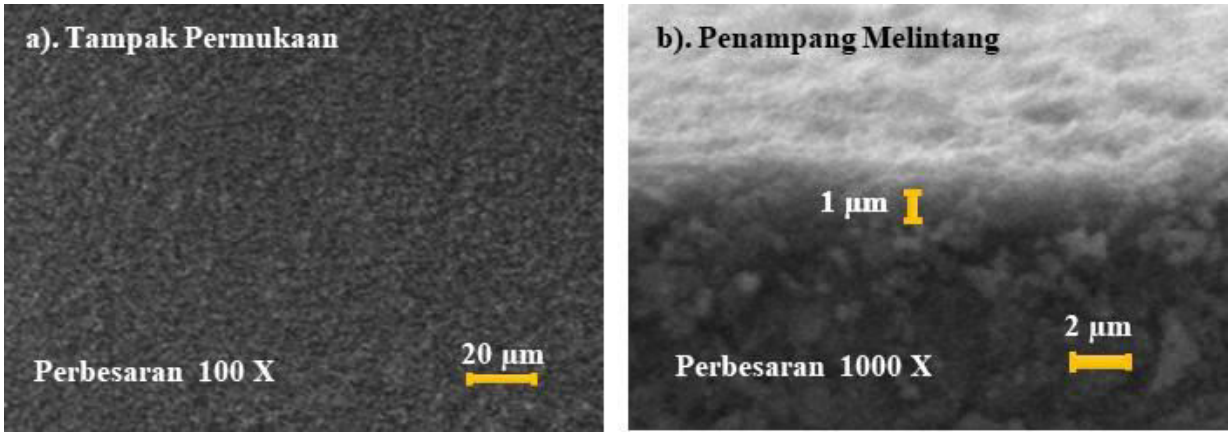
$$R = \frac{(Cf - Cp)}{Cf} X100\% \quad \ldots (2)$$

dengan variabel R sebagai nilai rejeksi kontaminan setelah terlewat dari membran (%), *Cf* merupakan kontaminan pada umpan air payau (% berat) dan *CP* merupakan konsentrasi kontaminan pada permeat (% berat)

3 HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Morfologi Membran Silika-pektin

Morfologi membran silika-pektin pisang ditentukan dengan pemindaian *Scanning Electron Microscopy* (SEM) Membran silika dengan templating pektin pisang 0,1% menunjukkan struktur asimetris yang ditunjukkan pada Gambar 4 (a) dibawah ini.



Gambar 4. Analisis SEM membran silika-pektin pisang (a) Tampak permukaan dan (b) Penampang melintang membran kalsinasi suhu 400°C

Selain itu, luas permukaan membran silika-pektin pisang terlihat tidak mulus karena tidak adanya interlayer atau disebut interlayer-free dan juga disebabkan oleh faktor teknik kalsinasi (Pratiwi dkk., 2019). Perbedaan ukuran pori antara lapisan penyangga alumina dan lapisan silika-pektin membentuk lapisan atas membran menjadi tampak kasar (Elma dan Assyaifi, 2018). Teknik RTP yang dilakukan menggunakan laju (1° C/menit) menyebabkan kenaikan suhu secara tiba-tiba dan menciptakan tekanan termal pada membran. Selain itu, pembuatan membran silika-pektin pisang dengan teknik RTP lebih menghemat waktu dibandingkan dengan teknik konvensional CTP (Elma dkk., 2019c).

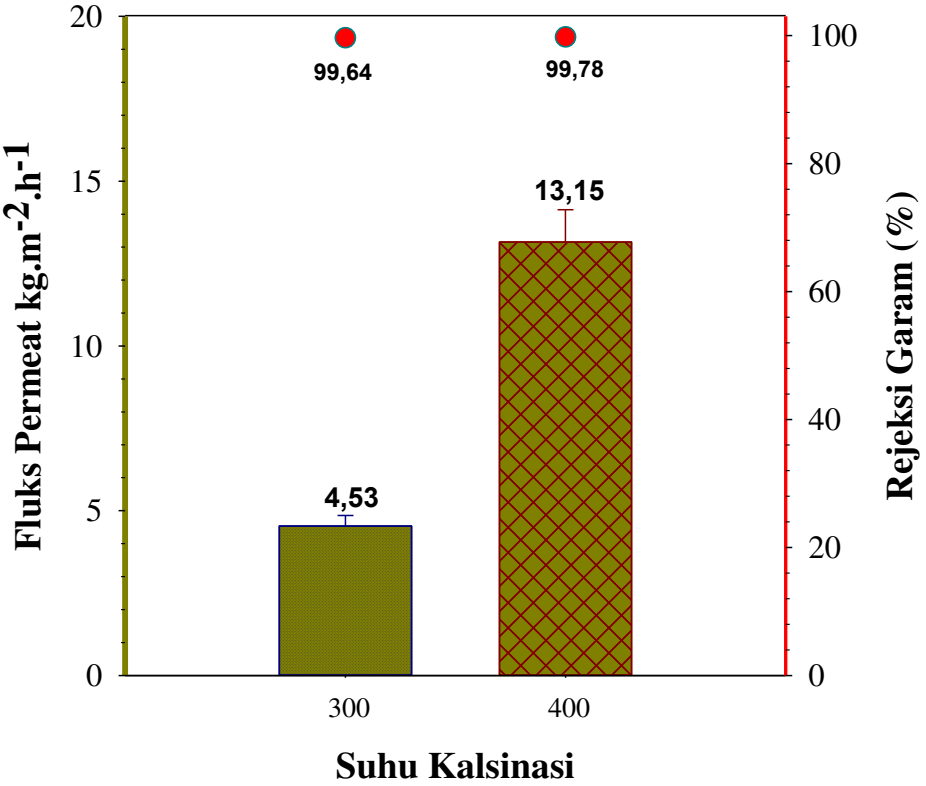
Teknik kalsinasi berkontribusi pada ketebalan membran(Elma, 2020b; Zhang dkk., 2018) . Seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4(b), penampang membran silika-pektin diperoleh ketebalan lapisan atas silika-pektin sekitar ~1 µm. Temperatur terkalsinasi juga berkontribusi terhadap ketebalan lapisan silika-pektin pisang. Membran silika-pektin yang berasal dari pisang yang dikalsinasi pada suhu 400 ° C cenderung lebih tipis seperti terlihat pada Gambar 4(b). Hal tersebut kemungkinan disebabkan oleh penguapan pelarut seperti etanol dan air yang terperangkap dalam matriks silika saat dikalsinasi pada suhu 400°C dan menyebabkan lapisan menjadi tipis (Elma dkk., 2012). Membran silika-pektin dari kulit pisang pada penelitian ini lebih tebal dibandingkan pektin dari buah apel yang berukuran <1 µm (Rahma dkk., 2019).

3.2 Kinerja Membran Silika-pektin pada Desalinasi Air Payau

Seluruh membran pada penelitian ini dikalsinasi menggunakan teknik RTP. Tujuan adanya kalsinasi adalah melepaskan gas-gas pada membran dalam berntukan karbonat atau hidroksida. Kalsinasi pada penelitian ini dilakukan pada suhu 300°C dan 400°C Proses kalsinasi dilakukan pada suhu tinggi dapat mengurangi kadar air dan pelarut yang terjebak pada matriks silika yang mengakibatkan pembentukan matriks yang lebih rapat dan kuat (Elma, 2020a). Teknik RTP melibatkan waktu yang singkat, dan cepat selama kalsinasi sehingga dapat secara signifikan mengurangi waktu fabrikasi membran. Prinsip utama teknik RTP adalah memanaskan lapisan atas dengan penahan isotermal pendek dan didinginkan pada suhu ruang. Pendinginan membran pada suhu terlebih dahulu dilakukan untuk menghindari gradien temperatur yang menyebabkan *cracking* (keruskan/pecah) atau terbentuknya lapisan

luar yang memadat namun pada bagian dalamnya tidak memadat dengan sempurna (Elma, 2020b; Zhang dkk., 2018)

Selanjutnya, performansi dari membran silika-pektin pisang konsentrasi 1% dilakukan dengan metode desalinasi melalui proses pervaporasi (PV) menggunakan air payau artifisial 0,3 wt%. Pada proses PV, membran bertindak sebagai penghalang selektif skala molekuler antara dua fase, yakni fase cair dalam air umpan dan fase uap di sisi permeatnya. *Driving force* dapat diperoleh dengan meletakan vakum pada sisi permeat membran sedangkan sisi umpan dijaga pada tekanan dan suhu atmosfer. Pada membran, air akan melewati pori membran, sedangkan ion garam akan tertahan pada permukaan membran. Air yang berhasil melalui pori membran akan berubah fase menjadi uap akibat perbedaan tekanan dan suhu dan dikumpulkan dalam cold trap untuk dikondensasi. proses kondensasi berfungsi mengubah fase uap menjadi fase cair (Elma dan Assyaifi, 2018). Setelah itu, dilakukan penghitungan rejeksi garam dengan mengukur konduktivitas air (permeat).



Gambar 5. Performansi membran silika-pektin pisang konsentrasi 1% kalsinasi 300°C dan 400°C pada air payau artifisial di suhu ruang (~25c).

Performa kedua membran ditampilkan pada Gambar 4. yang menunjukan bahwa nilai fluks membran pada suhu kalsinasi 300°C sebesar 4,5 kg.m^{-2}.jam^{-1} dengan rejeksi garam sebesar 99,64 %. Sedangkan pada membran dengan suhu kalsinasi 400°C menghasilkan fluks sebesar 13,2 kg.m^{-2}.jam^{-1} dan rejeksi garam sebesar 99,78%. Berdasarkan hasil tersebut, dapat diketahui bahwa terdapat pengaruh pengaplikasian suhu kalsinasi terhadap performa membran. Membran silika-pektin pisang yang dikalsinasi pada suhu yang lebih tinggi (400°C) memberikan performa lebih tinggi pada fluks air yaitu 3 kali lipat daripada membran silika-

pektin pisang yang dikalsinasi pada suhu 300°C. Hal ini dapat dijelaskan karena pada suhu yang lebih tinggi, proses evaporasi yang berlangsung lebih maksimal. Sehingga ruang kosong pada matriks silika lebih kecil yang menyebabkan ikatan matriks pada pori membran lebih kuat (Pratiwi dkk., 2019). Selain itu, penyisipan karbon pada matriks silika sebanyak 1% pektin memberikan efek positif terhadap pori membran silika.

Tabel 1. Ringkasan berbagai jenis membran untuk desalinasi air payau

Jenis Membran	Suhu Air Umpan (°C)	Fluks Permeat ($Kg.m^{-2}.h^{-1}$)	Rekjeksi Garam (%)	Referensi
Pure silica	22	9,5	99,6	(Elma dkk., 2013a)
Silika P123	22	6	>99	(Elma dkk., 2015a)
Kobalt-silika (5%)	25	2,9	>99	(Elma dan Saputro, 2020b)
Silika-pektin kalsinasi 300 °C	25	4,5	99,64	Penelitian ini
Silika-pektin kalsinasi 400 °C	25	13,2	99,78	Penelitian ini

4 KESIMPULAN

Membran silika-pektin pisang menggunakan Teknik kalsinasi *Rapid Thermal Processing* (RTP), pada penambahan pektin konsentrasi 1% menunjukkan kinerja yang baik untuk di aplikasikan pada desalinasi air payau. Kinerja membran silika-pektin yang dikalsinasi pada suhu 300°C menghasilkan nilai fluks permeat sebesar 4,5 $kg.m^{-2}.h^{-1}$ dengan rejeksi garam sebesar 99,64%. Sedangkan membran silika-pektin dengan suhu kalsinasi 400°C menghasilkan nilai fluks permeat dan rejeksi garam sebesar 13,2 $kg.m^{-2}.h^{-1}$ dan 99,78%. Hasil ini menunjukkan adanya pengaruh suhu kalsinasi terhadap pembentukan pori membran. Pada suhu kalsinasi 400°C, ikatan silika-karbon yang terbentuk lebih kuat dan optimal.

DAFTAR PUSTAKA

Amin, J. dan Sari, D. (2015): Penurunan Kadar Besi dan Mangan Terlarut dalam Air Payau Melalui Proses Oksidasi Menggunakan Kalium Permanganat. *Jurnal Lahan Suboptimal: Journal of Suboptimal Lands*. 4. 38-46

Elma, M. (2020a): Interlayer-free hybrid carbon-silica membranes for processing brackish to brine salt solutions by pervaporation. *Interlayer-free hybrid carbon-silica membranes for processing brackish to brine salt solutions by pervaporation*.

Elma, M. (2020b): Rapid Thermal Processing and Long Term Stability of Interlayer-free Silica-P123 Membranes for Wetland Saline Water Desalination.

Elma, M. dan Assyaifi, Z. L. (2018): *Desalination Process via Pervaporation of Wetland Saline Water*. IOP Publishing.

Elma, M., Ayu, R., Rampun, E. L. A., Annahdliyah, S., Suparsih, D. R., Sari, N. L. dan Pratomo, D. A. (2019a): Fabrication of interlayer-free silica-based membranes – effect of low calcination temperature using an organo-catalyst. *Membrane Technology*. 2019. 6-10

Elma, M., Mahmud, M., Handayani, N., Putri, V. S. dan Rahmah, A. (2019b): *Performansi membran interlayer-free silika-pektin pada desalinasi air laut dengan variasi suhu 25oC dan 40oC dengan kalsinasi membran suhu 300OC*.

Elma, M., Pratiwi, A. E., Rahma, A., Rampun, E. L. A. dan Handayani, N. (2020): *The performance of membranes interlayer-free silica-pectin templated for seawater desalination via pervaporation operated at high temperature of feed solution*. Trans Tech Publ.

Elma, M. dan Saputro, G. S. (2020a): *Performance of Cobalt-Silica Membranes through Pervaporation Process with Different Feed Solution Concentrations*. Trans Tech Publ.

Elma, M. dan Saputro, G. S. (2020b): Performance of Cobalt-Silica Membranes through Pervaporation Process with Different Feed Solution Concentrations. *Materials Science Forum*. 981. 342-348

Elma, M., Setyawan, H., Rahma, A., Pratiwi, A. dan Rampun, E. L. A. (2019c): *Fabrication of Interlayer-free P123 Caronised Template Silica Membranes for Water Desalination: Conventional Versus Rapid Thermal Processing (CTP vs RTP) Techniques*. IOP Publishing.

Elma, M., Wang, D. K., Yacou, C. dan Costa, J. C. D. d. (2015a): Interlayer-Free P123 Carbonised Template Silica Membranes for Desalination with Reduced Salt Concentration Polarisation. *Journal of Membrane Science*. 475. 376-383

Elma, M., Wang, D. K., Yacou, C., Motuzas, J. dan Diniz da Costa, J. C. (2015b): High performance interlayer-free mesoporous cobalt oxide silica membranes for desalination applications. *Desalination*. 365. 308-315

Elma, M., Yacou, C., Costa, J. C. D. d. dan Wang, D. K. (2013a): Performance and Long Term Stability of Mesoporous Silica Membranes for Desalination. *Membranes*. 3. 136-150

Elma, M., Yacou, C., Diniz da Costa, J. C. dan Wang, D. K. (2013b): Performance and long term stability of mesoporous silica membranes for desalination. *Membranes*. 3. 136-150

Elma, M., Yacou, C., Wang, D. K., Smart, S. dan Diniz da Costa, J. C. (2012): Microporous silica based membranes for desalination. *Water*. 4. 629-649

Hastuti, B. (2016): Pektin Dan Modifikasinya Untuk Meningkatkan Karakteristik Sebagai Adsorben. *Semin. Nas. Kinia Dan Pendidik. Kim*. 8. 157-169

Nurcahyono, A., Syam, H. dan Sundaya, Y. J. M., Jurnal Sosial dan Pembangunan (2015): Hak atas air dan kewajiban negara dalam pemenuhan akses terhadap air. 31. 389-398

Pratiwi, A. E., Elma, M., Putra, M. D., Mirwan, A., Rahma, A. dan Rampun, E. L. A. (2019): Innovation of Carbon from Pectin Templated in Fabrication of Interlayer-free Silica-Pectin Membrane. *Jurnal Kimia Sains dan Aplikasi*. 22. 93-98

Rahma, A., Elma, M., Mahmud, M., Irawan, C., Pratiwi, A. E. dan Rampun, E. L. A. (2019): Penyisihan Bahan Organik Alami pada Desalinasi Air Rawa Asin Menggunakan Proses Koagulasi-Pervaporasi. *Jurnal Kimia Sains dan Aplikasi*. 22. 85-92

Rampun, E. L. A., Elma, M., Syauqiah, I., Putra, M. D., Rahma, A. dan Pratiwi, A. E. (2019): Interlayer-free membran silika pektin untuk pervaporasi air rawa asin. *Jurnal Kimia Sains dan Aplikasi*. 22. 99-104

Tuhuloula, A., Budiyarti, L. dan Fitriana, E. N. (2013): Karakterisasi pektin dengan memanfaatkan limbah kulit pisang menggunakan metode ekstraksi. *Konversi*. 2. 21-27

Yang, H., Elma, M., Wang, D. K., Motuzas, J. dan da Costa, J. C. D. (2017): Interlayer-free hybrid carbon-silica membranes for processing brackish to brine salt solutions by pervaporation. *Journal of Membrane Science*. 523. 197-204

Zhang, T., Elma, M., Xie, F., Motuzas, J., Zhang, X. dan Wang, D. K. (2018): Rapid thermally processed hierarchical titania-based hollow fibres with tunable physicochemical and photocatalytic properties. *Separation and Purification Technology*. 206. 99-106