PREPARATION OF AN ORGANOSILICA-BASED MEMBRANE FROM TEOS-MTES AND ITS APPLICATION FOR DESALINATION OF WETLAND SALINE WATER

Lilis Septyaningrum[1,2)], Rahmawati[1,2)], Fitri Ria Mustalifah[1,2)], Aulia Rahma[2)]
Dewi Puspita Sari[3)], Muthia Elma[1,2*)]
[1)]Chemical Engineering Department,Lambung Mangkurat University (ULM)
JL.A. Yani KM 36, Banjarbaru, South Kalimantan 70714, Indonesia
[2)]Materials and membranes Research Group (M2ReG), Lambung Mangkurat University
JL.A.Yani KM 36, Banjarbaru, South Kalimantan 70714, Indonesia
[3)]Natural Resource and Environmental Management Department
Pascasarjana, Lambung Mangkurat University, Jl. A. Yani KM 36 Banjarbaru, 70714, Indonesia

[*]E-mail corresponding author: melma@ulm.ac.id

ARTICLE INFO

Article history:
Received: 25-10-2020
Received in revised form: 27-10-2020
Accepted: 28-10-10
Published: 28-10-10

Keywords:
Wetland saline water
Desalination
Organo-silica membrane
TEOS-MTES
Pervaporation.

ABSTRACT

When hot season, South Kalimantan society which especially, in Muara Halayung village frequently go through clean water lacking. It becomes worst by water dirtied on wetland aquifer aftermath the seawater intrusion. Wetland water sources become saline and cannot be used for household needs. Organosilica membrane technology is one of methods can be used to remove salt contain in water. This study aims are to investigate the functionalization and organosilica membrane performance from TEOS-MTES which calcined on particularly temperature for wetland saline water desalination. Synthesis of organosilica sol was conducted by sol-gel method. Then the dried sol was calcined at 350 °C and 600 °C, and characterized by FTIR (Fourier Transform InfraRed). Subsequently organosilica membrane was applicated for wetland saline water desalination via pervaporation. The result shows organosilica membrane performance was obtained the water flux 10,55 and 0,87 kg.m^{-2}h^{-1} which calcined at 350 and 600 °C. The salt rejection in all membrane exhibits extremely high over 99%. It evinces the organosilica membrane from TEOS-MTES which calcined at 350 °C is great to applicated for wetland saline water desalination by both of water fluxes and salt rejection showed high.

PREPARASI MEMBRAN BERBASIS ORGANOSILIKA DARI TEOS-MTES DAN APLIKASINYA UNTUK DESALINASI AIR RAWA ASIN

Abstrak- Saat musim kemarau, masyarakat Kalimantan Selatan khususnya di desa Muara Halayung sering mengalami kelangkaan air bersih. Hal ini diperburuk dengan tercemarnya perairan lahan basah akibat intrusi air laut. Sumber air rawa menjadi asin dan tidak dapat dimanfaatkan untuk keperluan air rumah tangga. Teknologi membran organosilika merupakan salah satu metode yang dapat dimanfaatkan untuk menghilangkan kandungan garam pada air. Penelitian ini bertujuan untuk menginvestigasi fungsionalisasi dan performa membran organosilika dari TEOS-MTES yang dikalsinasi pada suhu tertentu untuk desalinasi air rawa asin. Pembutan sol organosilika melalui metode sol-gel. Kemudian sol yang dikeringkan dikalsinasi pada suhu 350 °C dan 600 °C dan dikarakterisasi dengan uji FTIR (*Fourier Transform InfraRed*). Selanjutnya membran organosilika diaplikasikan untuk desalinasi air rawa asin dengan proses pervaporasi. Hasil performa membran organosilika didapatkan nilai *water flux* 10,55 dan 0,87 kg.m^{-2}h^{-1} pada suhu kalsinasi 350 dan 600 °C. Nilai *salt rejection* di semua membran menunjukkan nilai yang sangat tinggi yaitu, diatas 99%. Hal ini membuktikan bahwa membran organosilika dari TEOS-MTES yang dikalsinasi pada suhu 350 °C sangat baik diaplikasikan untuk desalinasi air rawa asin dengan nilai *water flux* dan *salt rejection* yang sama-sama tinggi.

Kata Kunci: Air rawa asin, desalinasi, membran organosilika, TEOS-MTES dan pervaporasi

PENDAHULUAN

Air bersih merupakan kebutuhan dasar dan primer untuk menjamin kelangsungan hidup manusia. Namun, tidak semua daerah mempunyai sumber daya air yang baik (Elma dkk., 2019b). Ketersedian air saat ini sangat terbatas dikarenakan berbagai sumber air mengalami peningkatan salinitas seperti kadar garam pada air sungai yang dapat mencapai 5000 mg/L (Wahyudi dkk., 2014). Di Indonesia khususnya Kalimantan Selatan Sumber air yang digunakan selain air sungai adalah air rawa. Sering terjadinya intrusi air laut pada air rawa yang disebabkan oleh pasang surut air laut yang tinggi menyebabkan air terasa asin (Elma dkk., 2020a). Kandungan garam terlarut dalam air melebihi standar baku mutu air layak konsumsi. Sedangkan batas maksimum kandungan garam untuk air minum adalah 250 mg/L, dan 500 mg/L untuk air bersih (Wahyudi dkk., 2014)

Adanya salinitas yang tinggi pada air dapat dapat diatasi menggunakan teknologi membran dengan proses desalinasi (Elma dkk., 2020a). Desalinasi merupakan salah satu teknologi untuk meningkatkan kualitas air (Lestari dkk., 2019). Desalinasi air rawa asin dapat dilakukan dengan proses pemisahan menggunakan membran seperti Reverse Osmosis (RO), membran distilasi (MD) atau pervaporation (PV) (Elma dkk., 2013). Akan tetapi proses menggunakan RO, MD memerlukan biaya cukup tinggi. Adapun desalinasi melalui proses pervaporasi menggunakan membran organosilika memiliki beberapa kelebihan yaitu konsumsi energi relatif rendah dan murah untuk diterapkan (Elma dkk., 2013). Berdasarkan kelebihan pada proses desalinasi tersebut menjadikan desalinasi menjadi pilihan alternatif untuk pengolahan air rawa asin menjadi air bersih yang layak dikonsumsi (Lestari dkk., 2020b; Rahma dkk., 2020a; Rahma dkk., 2020b).

Selain itu, membran organosilika merupakan pilihan yang menarik untuk proses desalinasi air karena ukuran pori-pori dan morfologinya yang menawarkan selektivitas yang lebih tinggi dalam proses desalinasi air (Elma dkk., 2019c), stabil pada suhu tinggi, kuat dan menawarkan *molecular sieving* yang lebih tinggi dibandingkan membran *zeolite* (Elma dkk., 2019a). Membran silika memiliki sifat penyaringan molekul yang sangat baik dengan proses sederhana melalui pengolahan sol-gel.Metode sol-gel dikenal sebagai salah satu metode sintesis nanopartikel yang cukup sederhana dan mudah. Metode ini merupakan salah satu "*wet method"* karena pada prosesnya melibatkan larutan sebagai medianya. Pada metode sol-gel larutan mengalami perubahan fasa menjadi sol (koloid yang mempunyai padatan tersuspensi dalam larutannya) dan kemudian menjadi gel (koloid tetapi mempunyai fraksi solid yang besar daripada sol) (Arifani dkk., 2012).

Membran organosilika dengan dengan TEOS sebagai prekursor utamanya memiliki keuntungan yaitu sifat mekanik TEOS pada proses presipitasi lapisan SiO_2 sangat baik, mudah terhidrolisis oleh air dan mudah digantikan oleh gugus OH (Elma dkk., 2020d; Elma dkk., 2020e; Lestari dkk., 2020a). Selanjutnya silanol (Si-OH) direaksikan antara keduanya atau direaksikan dengan gugus alkoksida non-hidrolisis untuk membentuk ikatan siloksan (Si-O-Si) dan mulailah terbentuk jaringan silika (Elma dkk., 2019a).

Adanya gugus silanol (Si-OH) pada membran silika memiliki sifat hidrofilik yang tinggi mengakibatkan membran lebih cepat mencapai pembengkakan pori, sehingga menurunkan nilai fluks permeat dan rejeksi garam (Lestari dkk., 2019). Penurunan nilai fluks permeat dan rejeksi garam dapat diatasi dengan menyisipkan karbon pada membran silika (Pratiwi dkk., 2018). Karbon dapat diperoleh pada material Methyltriethoxysilane (MTES). Karbon pada MTES dimanfaatkan untuk memperkuat matriks silika. Selain itu pada MTES memiliki stabilitas termal yang baik dan dapat mengurangi gugus silanol (Si-OH). Penghilangan gugus -OH pada membran silika dapat dilakukan dengan penggunaan teknik kalsinasi pada membran.

Berbagai macam metode kalsinasi pada membran yaitu kalsinasi atmosferik, kalsinasi *vacuum* dan kalsinasi nitrogen (Elma dkk., 2015). Pada penelitian ini digunakan kalsinasi menggunakan teknik *Rapid Thermal Processing* (RTP). Teknik RTP mampu menghasilkan membran anorganik dengan waktu yang sangat cepat yaitu dalam hitungan jam (Zhang dkk., 2018). Oleh karena itu, pada penelitian ini di investigasi pada performa membran TEOS-MTES dengan variasi suhu kalsinasi untuk desalinasi air rawa asin.

METODE PENELITIAN

Alat dan Bahan

Alat yang digunakan pada penelitian ini adalah *hot plate, stirrer,* oven, *furnace*, pH meter, *thermometer*, *vaccum pump*, *cold trap* dan *micropipet*, sedangkan bahan-bahan yang digunakan pada penilitian ini yaitu TEOS-MTES sebagai prekursor utama, (EtOH) sebagai pelarut, katalis asam (HNO_3, Merck) dan basa ammonia (NH_3, Merck) serta substrat α–Al_2O_3 *macroporous tubular* sebagai membran *support*. Adapun untuk air umpan yang digunakan adalah air rawa asin.

Sintesis Membran (Sol-gel)

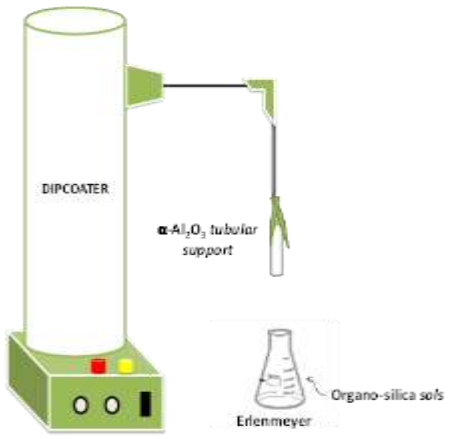
Sintesis membran organosilika dilakukan melalui beberapa tahapan sebagaimana yang

ditunjukkan dalam **Gambar 1.** Silika sol disintesis dengan perbandingan TEOS:MTES 9:1. TEOS-MTES diteteskan ke dalam larutan etanol sambil diaduk pada kondisi 0℃ selama 5 menit. Proses selanjutnya adalah penambahan larutan asam nitrat 0,00078 N sebanyak 8,072 gram dan direfluks selama 1 jam. Tahapan selanjutnya, penambahan NH_3 pada larutan dan direfluks kembali pada suhu 50℃ selama 2 jam disertai pengadukan dengan kecepatan 250 rpm untuk mencapai penyempurnaan reaksi hidrolisis grup alkoksida logam.

Gambar 1. Sol Organosilika

***Dipcoating* Membran Organosilika**

Setelah diperoleh sol organosilika, dilakukan proses *dip-coating* (pelapisan) *thin film* ke membran *support*. *Dipcoating* dilakukan dengan cara mencelupkan membran α-Al_2O_3 *tubular suppor*t kedalam sol organosilika yang telah dibuat dengan laju pencelupan dan penarikan masing-masing yaitu 10 cm per menit dan 5 cm per menit selama 2 menit perendaman **(Gambar 2)**. Kalsinasi selanjutnya dilakukan selama 1 jam dengan suhu 350°C dan 600°C dengan metode RTP (*rapid thermal processing*). Setelah dikalsinasi, didinginkan selama 30 menit. Proses ini diulangi sampai 4 kali sehingga didapatkan 4 layer. Membran dikarakterisasi menggunakan uji *Fourier Transform Infrared* (FTIR) untuk mengetahui morfologinya.



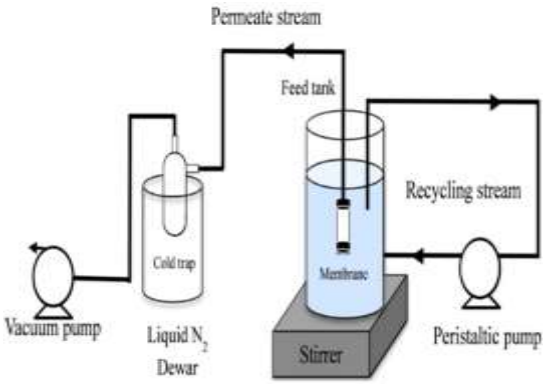
Gambar 2. Alat *Dipcoater*

Karakteristik Membran

Karakterisasi membran menggunakan *xerogel* (*dried gel*) yang telah dihaluskan. Karakterisasi membran bertujuan untuk mengetahui sifat fisik dan kimianya. Analisis dengan FTIR dilakukan pada rentang panjang gelombang 4000-600 cm-1. Rentang panjang gelombang ini didasarkan pada hipotesis munculnya ikatan Si-O-Si, Si-OH dan Si-C sebagai penyusun matriks organosilika. Dekonvulasi puncak gelombang serapan sepanjang daerah 1400-600 cm-1 ditunjukkan dengan Fityk *software* dengan dasar *Gaussian lineshapes* pada ketepatan nilai *least square* dan normalisasi puncak (*peak)* terhadap luasan dasar (*baselines*) (Lestari dkk., 2019).

Proses Pervaporasi

Membran organosilika selanjutnya diaplikasikan untuk proses desalinasi menggunakan sistem pervaporasi (PV). Prinsip kerja dari sistem pervaporasi adalah dengan adanya perbedaan suhu sebagai *driving force*, air rawa asin dipaksa melewati membran dan berubah fase menjadi uap (*vapour*). Uap yang dihasilkan akan ditampung di dalam *coldtrap* dan dikondensasi untuk kemudian diperoleh air olahan (*permeate*). Adapun *set-up* alat pervaporasi ditampilkan seperti pada **Gambar 3.** air umpan yang digunakan adalah air rawa asin pada suhu ruang. Performansi ditentukan dengan menghitung *flux* dan *salt rejection*. Persamaan flux $F=m/(A.\Delta t)$, dimana m adalah massa *permeate* (kg) yang terperangkap di dalam *cold trap*, A adalah luas permukaan aktif (m^2) dan Δt adalah waktu pervaporasi. Sedangkan *salt rejection* ditentukan dengan persamaan $R=(C_f-C_p)/C_f \times 100\%$, dimana Cf dan Cp merupakan konsentrasi garam pada umpan dan *permeate* (%berat). Konduktivitas permeat dihitung menggunakan *conductivity meter*.



Gambar 3. Rangkaian Alat Proses desalinasi air rawa asin pervaporasi

Analisis Data

Analisis data dilakukan untuk menginvestigasi kondisi pervaporasi pada desalinasi air rawa asin menggunakan membran organosilika terhadap nilai fluks dan rejeksinya dalam mereduksi konsentrasi garam serta performa membran.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Sintesis Sol dan Membran Organosilika

Silika sol (organosilika) merupakan hasil akhir pada proses pembuatan sol dengan metode sol-gel dengan mereaksikan *precursor* TEOS dalam etanol dan dengan bantuan katalis asam dan basa yaitu asam nitrat dan amonia (NH_3) (Elma dkk., 2019a). Pada pembuatan silika sol (organosilika), terjadi beberapa tahapan proses yaitu hidrolis, kondensasi alkohol dan kondensasi air (Elma dkk., 2020b; Elma dkk., 2020c).

Gambar 4. Proses Pembuatan Organosilika melalui metode Sol-gel

Reaksi hidrolisis dan reaksi kondensasi merupakan tahapan yang diperlukan dalam proses sintesis sol silika dari TEOS, MTES, dan katalis organik nitrat (NH_3). TEOS adalah sumber silika dan katalis asam nitrat merupakan sumber karbon; dimana komposisi kedua bentuk itu berbentuk Si-OH (silanol), Si-O-Si (silikon) dan silika karbon (Si-C) serta menentukan struktur berbentuk mikro di silika (Lestari dkk., 2019). *Siloxane* yang tinggi dalam membran silika dapat mengatasi *hydro*-ketidakstabilan. Reaksi diperlihatkan dalam persamaan berikut:

Reaksi Hidrolisis

$$Si\text{-}OR + H_2O \longrightarrow Si\text{-}OH + ROH \quad \ldots (1)$$

Reaksi Alkohol Kondensasi

$$Si\text{-}OR + HO\text{-}Si \longrightarrow Si\text{-}O\text{-}Si + ROH \quad \ldots (2)$$

Kondensasi Air

$$Si\text{-}OH + HO\text{-}Si \longrightarrow Si\text{-}O\text{-}Si + H_2O \quad \ldots (3)$$

Studi baru-baru ini telah menunjukkan pentingnya parameter dalam mengendalikan proses reaksi sol-gel sehubungan dengan jenis morfologi material (Elma dkk., 2013; Motuzas dkk., 2019). Hasil pengolahan dari proses sol-gel ini menghasilkan molar rasio organosilika dengan pH 6. Pada penelitian ukuran pori yang diinginkan adalah mesopori. Menurut IUPAC, ukuran material mikropori yaitu berdiamter < 2 nm, mesopori berdiameter 2-50 nm dan makropori berdiameter > 50 nm (Tyassena, 2015). Menurut Elma dkk. (2013) pH 6 merupakan pH yang optimum karena pada pH ini dapat menghasilkan pori pori membran yang *mesoporous*, yang mana menurut Elma dkk. (2019a) ukuran porinya lebih besar dibandingkan dengan ukuran molekul air namun lebih kecil bila dibandingan dengan ukuran molekul garam. Sol yang disiapkan pada pH 6 menghasilkan konsentrasi spesies silanol (Si-OH) terendah untuk meningkatkan stabilitas hidrostabilitas dan kondisi yang optimal untuk lapisan film (*thin film*).

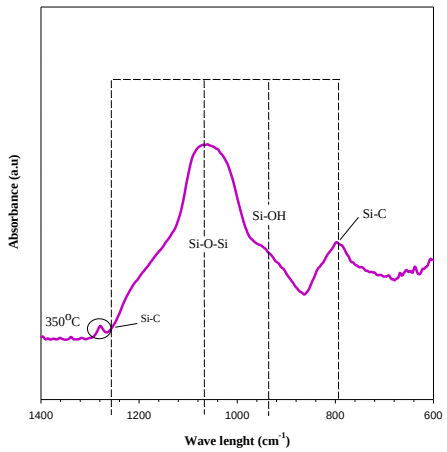
Gambar 5. Serbuk Xerogel dengan Suhu Kalsinasi 350°C dan 600°C

Gambar 5 merupakan hasil kalsinasi xerogel dengan variasi suhu 350°C dan 600°C, yang mana dapat dilihat perbedaan warna xerogel antara yang dikalsinasi 350°C dan 600°C. Pada suhu 350 menunjukkan warna kuning ke putihan. Sedangkan pada 600°C menunjukkan warna seperti putih kapur. Perubahan struktur kimia khususnya dipengaruhi oleh katalis asam nitrat dalam proses sol-gel pada suhu refluks 0°C dan 50°C dianalisis dengan teknik FTIR (Lestari dkk., 2020c). Pengeringan sol-gel dengan perlakuan suhu rendah (25-100°C) adalah untuk mendapatkan matriks padat berpori (Xerogel). Gugus silanol dan siloxane diketahui dapat mempengaruhi ukuran pori membran, mengingat tujuan pembuatan xerogel ini adalah untuk digunakan sebagai thin film pelapis membran, sehingga penting untuk mengetahui ada tidaknya kedua gugus tersebut (Elma dkk., 2019a).

Fungsionalisasi Material Organosilika

Penerapan katalis organik dalam pembuatan silika sol melalui proses sol-gel adalah cara utama untuk menghasilkan kombinasi antara silika dan karbon yang terhubung dalam pembuatan organosilika, hal ini dapat dilihat melalui analisis *Fourier Transform Infrared* (FTIR) untuk menentukan gugus Si-OH (silanol), Si-O-Si (silikon) dan silika karbon (Si-C). Adapun untuk penentuan puncak gelomobang FTIR yang menentukan gugus fungsi Si-OH (silanol), Si-O-Si (silikon) dan Si-C (silika karbon). Untuk penentuan puncak gelombang FTIR dilihat *Group Organic* Si-C terletak diantara *wave length* 1260 cm^{-1} dan < 800 cm^{-1}, Si-O-Si terletak dikisaran 1000-1100 cm^{-1} dan Si-OH terlatak dikisaran 940 cm^{-1}. Hal ini dapat

dilihat pada **Gambar 6.** yang menunjukan *Spectra Silica gels* dengan kalsinasi suhu 350℃.

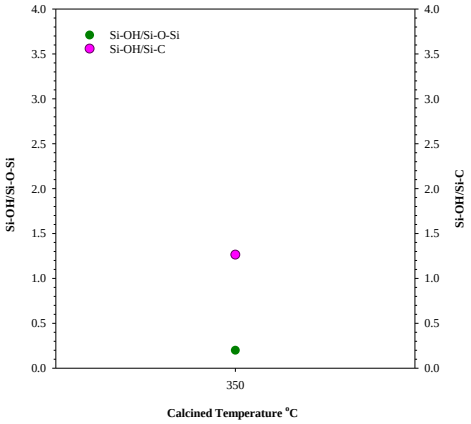


Gambar 6. Uji FTIR Membran Organosilika

Dari gambar 6 dapat dilihat panjang spektra mulai 1400-600 cm^{-1}. Spektra IR bertujuan untuk menguji keberadaan gugus-gugus penyusun matriks silika (Lestari dkk., 2019). Struktur *siloxane* ditemukan pada panjang gelombang ~1070 cm^{-1}. Struktur Silanol didapatkan pada puncak gelombang ~940 cm^{-1}. Pada struktur gelombang puncak silanol telah sesuai dengan Penelitan Lestari dkk. (2020c), yang mana puncak silanol terletak di ~940 cm^{-1} pada *wavelength* atau panjang gelombang. Banyaknya silanol cenderung akan menghasilkan pori kecil disebut dengan mikropori, sedangan *siloxane* membentuk pori berukuran lebih besar (mesopori) (Elma dkk., 2019b). Membran berukuran mesopori memiliki kemampuan memisahkan air dan garam lebih tinggi dibandingkan membran mikropori (Lestari dkk., 2019). Adanya karbon berasal dari prekurosr *Methytriethoxysilane* (MTES) dapat dilihat pada puncak gelombang 1280 cm^{-1} dan 797 cm^{-1}. Menurut penelitian Elma dkk. (2019b); (Rahma dkk., 2019) karbon berperan dalam memperkuat matriks silika. Adanya ikatan Si-C pada matriks silika mampu meningkatkan kekuatan dan hidrostabilitas suatu material dan cocok dijadikan sebagai pelapis membran (Elma dan Setyawan, 2018; Pratiwi dkk., 2018). Dilihat pada **Gambar 6.** 1280 cm^{-1} pada suhu kalsinasi 350℃ terlihat puncak gelombang kecil, hal ini karena masih adanya kandungan karbon pada silika organik. Jika membran membran *pure* silika (tanpa penambahan karbon) maka dapat dengan mudah mengadsorpsi molekul air karena banyaknya gugus silanol yang terbentuk (Pratiwi dkk., 2018).

Dekonvulasi Luas Area dari Gugus Fungsi Material Organosilika

Fityk Software adalah program untuk pemrosesan data dan pemasangan kurva nonliner. Melalui aplikasi *Fityk Software* dapat menentukan luas daerah berbagai fungsi dari data uji FTIR. Berdasarkan aplikasi *Fityk Software* didapatkan luas area dari berbagai variasi suhu kalsinasi yang dapat dilihat pada Gambar 7.



Gambar 7. Rasio *peak* area gugus Silanol (Si-OH) vs *siloxane* (Si-O-Si) dan gugus silanol (Si-OH) vs silika karbon (Si-C)

Gambar 7 menunjukkan luas area gugus fungsi yang didapat dari aplikasi fityk, dapat dilihat pada gugus fungsi Si-OH vs Si-O-Si dan Si-OH vs Si-C semakin tinggi jika suhu kalsinasi yang digunakan semakain tinggi. Nilai Si-OH vs Si-O-Si, dengan nilai sebesar 0.1987, dan 0.2623. Hal ini membuktikan bahwa *siloxen* (Si-O-Si) yang terbentuk lebih banyak dari kandungan gugus fungsi silanol (Si-OH) dapat dilihat pada tabel berikut (**Tabel 1)**. Gugus fungsi *siloxen* ini didapat melalui prekursor seperti TEOS-MTES. Menurut Elma dkk. (2019a) terbentuknya ikatan gugus siloksen (Si-O-Si) karena adanya penambahan alkoksida seperti TEOS dan penelitian Lestari dkk. (2019) melaporkan bahwa TEOS merupakan sumber silika dan Nadargi dan Rao (2009) menyatakan bahwa logam alkoksida seperti MTES dapat digunakan sebagai prekursor, pada MTES mengandung unsur karbon, yang mana karbon digunakan untuk memperkuat matriks silika.

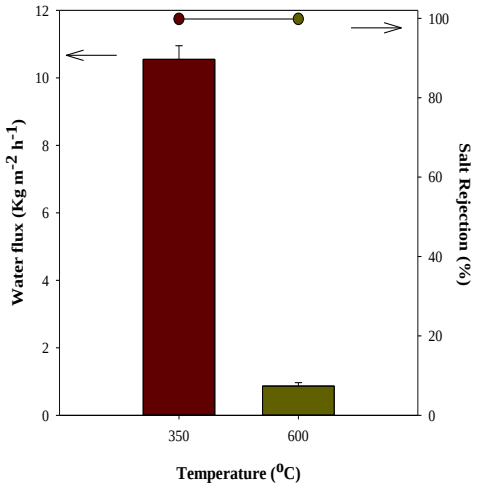
Adapun gugus fungsi Si-C vs Si-OH terjadi kenaikan pada grafik diatas. Pada Si-C vs Si-OH dengan suhu kalsinasi 350℃ dan 600℃ pada grafik menujukkan besar rasio *area peak* berturut-turut sebesar 1.2634 dan 3.7190. Penelitian ini menyimpulkan bahwa karbon yang disisipkan pada silika hanya sedikit, ini karena pengaruh suhu kalsinasi, yang mana semakin tinggi suhu maka karbon akan terdekomposisi, hal ini sesuai teori penelitian (Elma dan Setyawan, 2018). Pada suhu kalsinasi yang semakin tinggi, karbon yang disisipkan pada membran silika akan terdekomposisi.

Tabel 1. Rasio Peak area Silanol (Si-OH), *Siloxane* (Si-O-Si), dan Silika karbon (Si-C)

T ℃	Si-OH	Si-O-Si	Si-C	Si-OH/ Si-O-Si	Si-OH/ Si-C
350	0.9008	4.5342	0.7130	0.1987	1.2634
600	0.6167	2.3513	0.1658	0.2623	3.7190

Aplikasi Membran Organosilika untuk desalinasi air rawa asin

Perfomance pemisahan membran menggunakan membran organosilika bertujuan untuk mengukur kemampuan membran dalam memisahkan molekul garam dan molekul air. Perfoma membran dipengaruhi oleh struktur membran (mesopori) (Lestari dkk., 2019). Perfoma membran yang dilakukan untuk desalinasi air rawa asin pada suhu ruang (± 25℃). Desalinasi adalah porses pemisahan terjadi dalam fase perubahan dari cairan ke uap di sisi lain membran. Dalam proses desalinasi yang penting untuk diketahui adalah nilai rijeksi garam dan *waterflux*. Rijeksi garam menunjukkan rasio konsentrasi garam ke dalam pakan (air garam) ke lapisan membran yang berpori-pori (Elma dan Hairullah, 2018). Berikut merupakan Grafik penentuan *waterflux* dan rijeksi garam pada variasi suhu kalsinasi 350℃ dan 600℃ yang dapat dilihat pada **Gambar 8.**



Gambar 8. *Waterflux* dan *Salt Rejection* terhadap Variasi Suhu Kalsinasi

Gambar 8 menunjukkan performa membran terhadap variasi suhu kalsinasi dengan metode *Rapid Thermal Procecing* (RTP). *Water flux* yang diperoleh dari variasi suhu kalsinasi 350℃ adalah sebesar 10,5488 $kg.m^{-2}h^{-1}$ dan suhu kalsinasi 600℃ $kg.m^{-2}h^{-1}$ sebesar 0,8674 $Kg.m^{-2}h^{-1}$. *Water flux* yang diperoleh berbanding terbalik dengan penggunaaan suhu yang semakin meningkat, yang mana dapat dilihat pada **Gambar 8.** semakin tinggi suhu semakin kecil *water flux* yang diperoleh. Hal ini dipengaruhi oleh ukuran pori, dimana semakin tinggi penggunaan suhu kalsinasi yang digunakan semakin kecil pula ukuran pori membran, sehingga partikel-partikel seperti garam akan menghalang *flux* yang akan lolos melewati membran. Hal ini sesuai dengan penelitian Elma dkk. (2018) pada suhu yang lebih rendah menghasilan performa yang lebih baik, yang mana *water flux* suhu 350℃ lebih tinggi dibandigkan dengan water flux suhu kalsinasi 600℃. Adapun *Salt Rejection* yang diperoleh dikedua membran dengan variasi suhu kalsinasi yang berbeda di suhu 350℃, dan 600℃ mencapai 99,8 %. Menurut penelitian Elma dkk. (2013) melaporkan bahwa nilai *water flux* 9,5 $kg.m^{-2}h^{-1}$ sudah sangat bagus dengan hasil rejeksi garam 99% untuk *brackish* NaCl 0,3 wt%, sedangkan dari penelitian ini membran yang dikalsinasi menggunakan *Rapid Thermal Procecing* (RTP) menghasilkan 10,5488 $kg.m^{-2}h^{-1}$. Performa membran ini sangat bagus untuk rejeksi garam (99,8%) dengan kandungan garam *feed* sebelum perlakuan adalah 61700 μs/cm. Jenis membran silika organik yang digunakan sangat efektif memisahakan kandungan garam dan air yang dapat dilihat dari *Water flux* dan *Salt rejection*. Berikut merupakan perbandingan berdasarkan jenis membran yang digunakan untuk desalinasi Air Rawa Asin.

Tabel 2. Perfoma berbagai jenis membran untuk desalinasi Air Rawa Asin

Jenis Membran	Suhu kalsinasi (℃)	Suhu feed (℃)	Fluks permeat ($kg.m^{-2}h^{-1}$)	Rijeksi garam (%)	Ref.
Organosilika	350	25 ℃	10,54	99,8	Penelitian ini
	600		0,86	99,8	
Pure Silika	600	25℃ - 60℃	0,84-1,19	70-85	(Elma dan Hairullah, 2018)
Silika-P123	350	25 ℃	1,25	66	(Elma dkk., 2018)

Tabel 2. menunjukan perfoma membran organosilika, pada penelitian ini menunjukkan hasil yang sangat bagus dibandingkan dengan menggunakan *pure* silika ataupun menggunakan Silika P123. Hal tersebut dikarenakan material *triblock copolymer* memberikan ikatan rantai karbon panjang, sehingga matriks silika yang terbentuk dimungkinkan memiliki pori yang lebih kecil (Rahma dkk., 2019). Selain itu membran Silika organik menawarkan rejeksi garam> 99% yang mampu dapat menyisihkan kandungan garam pada air rawa asin

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan, didapatkan kesimpulan yaitu: Membran organosilika dengan prekursor TEOS-MTES menghasilkan *water flux* sebesar 10,5488 $kg.m^{-2}h^{-1}$ di suhu kalsinasi 350℃ dan di suhu kalsinasi 600℃ sebesar 0,8674 $kg.m^{-2}h^{-1}$. Membran dengan variasi suhu kalsinasi diperoleh *salt rejection* diatas 99%. MTES dipercaya dapat memperkuat matriks silika, karena adanya unsur karbon pada MTES yang bisa digunakan untuk meningkatkan *hidrostability* membran silika Hasil *water flux* dan *salt rejection* yang diperoleh maka performa membran organosilika sangat efektif dalam memisahkan kandungan garam dan air.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terimakasih kepada Universitas Lambung Mangkurat, Fakultas Teknik, Program Studi Teknik Kimia dan M_2ReG (*Material and Membranes Research Group*) yang telah mendukung penelitian ini sehingga terlaksana. Penulis mengucapkan terima kasih kepada hibah PKM mahasiswa tahun 2020. Muthia Elma berterima kasih kepada hibah Tesis Magister tahun 2020, hibah PTUPT 2019-2020 serta hibah Dosen Wajib Meneliti PNBP ULM tahun 2020.

DAFTAR PUSTAKA

Arifani, M., Baqiya, M. A. dan Darminto, D. 2012. Sintesis Multiferoik BiFeO3 Berbasis Pasir Besi dengan Metode Sol Gel. Jurnal Sains dan Seni ITS. 1. B11-B14

Elma, M., Fitriani, R. A. dan Hidayati, R. 2018. Silica P123 Membranes for Desalination of Wetland Saline Water in South Kalimantan.

Elma, M. dan Hairullah, A. Z. 2018. Desalination Process via Pervaporation of Wetland Saline Water.

Elma, M., Mahmud, M., Akhbar, A., Suryani, L., Mustalifah, F. R., Rahma, A., Rahmah, D. dan Baity, N. 2020a. APLIKASI MEMBRAN SILIKA-PEKTIN UNTUK DESALINASI AIR PAYAU. Jukung (Jurnal Teknik Lingkungan). 6.

Elma, M., Mujiyanti, D. R. dan Amalia, M. N. 2019a. THE CHARACTERIZATION OF SILICA-ORGANIC XEROGEL FROM GLUCOSE. Konversi. 8. 17-22

Elma, M., Pratiwi, A. E., Rahma, A., Rampun, E. L. A. dan Handayani, N. 2020b. The Performance of Membranes Interlayer-Free Silica-Pectin Templated for Seawater Desalination via Pervaporation Operated at High Temperature of Feed Solution. Materials Science Forum. 981. 349-355

Elma, M., Pratiwi, A. E., Rampun, E. L. dan Rahmah, A. 2019b. Aplikasi Membran Interlayer-Free Silika-Pektin pada Pengolahan Air Payau dan Air Rawa Asin.

Elma, M., Rahma, A., Pratiwi, A. E. dan Rampun, E. L. A. 2020c. Coagulation as pretreatment for membrane-based wetland saline water desalination. Asia-Pacific Journal of Chemical Engineering. n/a. e2461

Elma, M., Rampun, E. L. A., Rahma, A., Assyaifi, Z. L., Sumardi, A., Lestari, A. E., Saputro, G. S., Bilad, M. R. dan Darmawan, A. 2020d. Carbon templated strategies of mesoporous silica applied for water desalination: A review. Journal of Water Process Engineering. 38. 101520

Elma, M., Sari, N. L., Pratomo, D. A., Annadliyah, S., Rampun, E. L. A., Rahma, A. dan Pratiwi, A. E. 2020e. Organo-silica membrane for brine water pervaporation.

Elma, M. dan Setyawan, H. 2018. Synthesis of Silica Xerogels Obtained in Organic Catalyst via Sol Gel Route. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 175. 012008

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 da Costa, J. C. D. 2015. 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., Diniz da Costa, J. C. dan Wang, D. K. 2013. Performance and Long Term Stability of Mesoporous Silica Membranes for Desalination. Membranes. 3. 136-150

Lestari, A. E., Elma, M., Rabiah, S., Rampun, E. L. A., Rahma, A. dan Pratiwi, A. E. 2020a. Performance of Mesoporous Organo Silica Membrane for Desalination. Trans Tech Publ.

Lestari, R. A., Elma, M., Annadhliyah, S., Suparsih, D. R., Lestari, A. E. dan Rabiah, S. 2019. Performansi Pemisahan Membran Organosilika untuk Desalinasi Air Rawa Asin di Kawasan Lahan Basah.

Lestari, R. A., Elma, M., Rahma, A., Suparsih, D., Anadhliyah, S., Sari, N. L., Pratomo, D. A., Sumardi, A., Lestari, A. E., Assyaifi, Z. L. dan Saputro, G. S. 2020b. Organo Silica Membranes for Wetland Saline Water Desalination: Effect of membranes

calcination temperatures. E3S Web Conf. 148. 07006

Lestari, R. A., Elma, M., Rampun, E. L. A., Sumardi, A., Paramitha, A., Lestari, A. E., Rabiah, S., Assyaifi, Z. L. dan Satriaji, G. 2020c. Functionalization of Si-C using TEOS (Tetra Ethyl Ortho Silica) as Precursor and Organic Catalyst. EDP Sciences.

Motuzas, J., Darmawan, A., Elma, M. dan Wang, D. K. 2019. Microporous Silica Membrane: Structure, Preparation, Characterization, and Applications. Current Trends and Future Developments on (Bio-) Membranes. Elsevier.

Nadargi, D. Y. dan Rao, A. V. 2009. Methyltriethoxysilane: new Precursor for Synthesizing Silica Aerogels. Journal of Alloys and Compounds. 467. 397-404

Pratiwi, A. E., Elma, M., Putra, M. D., Mirwan, A., Rahma, A. dan Rampun, E. L. A. 2018. Inovasi Penyisipan Karbon dari Pektin pada Pembuatan Membran Interlayer-free Silika-pektin. 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

Rahma, A., Elma, M., Pratiwi, A. E. dan Rampun, E. L. 2020a. Performance of interlayer-free pectin template silica membranes for brackish water desalination. Membrane Technology. 2020. 7-11

Rahma, A., Elma, M., Rampun, E. L. A., Pratiwi, A. E., Rakhman, A. dan Fitriani 2020b. Rapid Thermal Processing and Long Term Stability of Interlayer-free Silica-P123 Membranes for Wetland Saline Water Desalination. Advanced Research in Fluid Mechanics and Thermal Sciences. 71. 1-9

Tyassena, F. Y. P. 2015. Analisis Pembentukan Partikel Makropori pada Spray Pyrolysis. Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Wahyudi, W., Setiyono, A. dan Jayanthi, O. W. 2014. Studi Kualitas dan Potensi Pemanfaatan Airtanah Dangkal di Pesisir Surabaya Timur. EKSPLORIUM. 35. 43-56

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