

Membran karbon *templated* silika dari karbon nipah (*Nypa fruticans*) untuk aplikasi desalinasi air rawa asin

Carbon templated silica membranes from nypa carbon (Nypa fruticans) applied for wetland saline water desalination

Mita Riani Rezki^{a,f}, Muthia Elma^{b,e,f,*}, Mahmud^c, Sunardi^{d,e}, Elsa Nadia Pratiwi^{a,f}, Era Nandita Radiya Oktaviana^{b,f}, Siti Fatimah^{b,f}, dan Aulia Rahma^f

^aNatural Resource and Environmental Management Department, Pascasarjana, Lambung Mangkurat University, Jl. A. Yani KM 36 Banjarbaru, 70714, Indonesia

^bChemical Engineering Department, Faculty of Engineering, Lambung Mangkurat University, Jl. A. Yani KM 36 Banjarbaru, 70714, Indonesia

^cEnvironmental Engineering Department, Faculty of Engineering, Lambung Mangkurat University, Jl. A. Yani KM 36 Banjarbaru, 70714, Indonesia

^dChemistry Department, Faculty of Mathematics and Natural Sciences, Lambung Mangkurat University, Jl. A. Yani KM 36 Banjarbaru, 70714, Indonesia

^eWetland Based Materials (WBM) Research Centre, Lambung Mangkurat University, Jl. A. Yani KM 36 Banjarbaru, 70714, Indonesia

^fMaterials and Membranes Research Group (M2ReG), Lambung Mangkurat University, Jl. A. Yani KM 36 Banjarbaru, 70714, Indonesia

*E-mail: melma@ulm.ac.id

Diterima 10 Oktober 2020 Direvisi 11 Desember 2020 Disetujui 18 Desember 2020

ABSTRAK

Templated karbon nipah pada silika matriks merupakan suatu inovasi untuk meningkatkan kekuatan membran inorganik silika. Performa membran akan lebih stabil saat diaplikasikan pada proses desalinasi. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui kinerja membran nipah-silika untuk desalinasi air rawa asin. Membran nipah-silika dibuat dengan *templating* karbon nipah berasal dari daun *nypa fruticans* ke dalam sol silika dengan metode sol-gel. Kemudian membran *support* di-*dipcoating* ke dalam sol nipah-silika menggunakan *dipcoater* dan dikalsinasi dengan teknik *rapid thermal processing* (RTP). Membran nipah-silika diaplikasikan untuk desalinasi air rawa asin melalui pervaporasi. Hasil performa membran silika yang memiliki nilai fluks tertinggi yaitu pada penambahan nipah 2,5% yang dikalsinasi 350°C (1,008 kg m⁻² jam⁻¹). Karbon dari nipah memberikan pengaruh yang baik terhadap kinerja membran silika. Selain itu, semua membran memiliki rejeksi garam >98%. Oleh karena itu, membran karbon *templated* silika dari nipah telah berhasil difabrikasi dan diaplikasikan untuk desalinasi air rawa asin.

Kata Kunci : desalinasi; membran nipah-silika; RTP; air rawa asin; *templated*

ABSTRACT

Nypa carbon templated into silica matrices is an innovation to enhance inorganic silica membrane robustness. Performance of the membrane will be more stable during application for desalination process. This research aims to investigate silica-nypa membrane performance for desalination of wetland saline water. Silica-nypa was fabricated by carbon templated which obtained from nypa fruticans leaves and mixed into silica sol by sol-gel method. Support membrane was coated into silica-nypa sol by dip-coater and calcined via rapid thermal processing (RTP) technique. Silica-nypa membrane applied for wetland saline water desalination via pervaporation. The results showed that silica membrane performed the highest water flux by adding nypa 2.5 wt% calcined at 350°C (1.008 kg m⁻²h⁻¹). Carbon from nypa offered great effect to silica membrane

performance. Furthermore, all membranes had high salt rejection >98%. Therefore, carbon template silica membrane from *nypa* was successfully fabricated and applied for wetland saline water desalination.

Keywords : desalination; *nypa* carbon templated silica membrane; RTP; wetland saline water

I. PENDAHULUAN

Pertambahan jumlah penduduk dan alih fungsi lahan menyebabkan banyak permasalahan tidak terkecuali pemenuhan kebutuhan terhadap air bersih. Semakin padat penduduk maka sumber air yang tersedia juga semakin berkurang (Liu *et al.*, 2017; Oki & Quioco, 2020). Salah satu sumber air yang digunakan khususnya masyarakat di Kalimantan Selatan adalah air rawa. Pada musim kemarau seringkali terjadi intrusi air laut (Mariana, Mahbub, & Hayati, 2015) ke dalam air permukaan dan akuifer yang menyebabkan tingkat salinitas air rawa mendekati salinitas air laut (Abedin, Habiba, & Shaw, 2014), sehingga tidak layak untuk dikonsumsi (Amir, 2019).

Desalinasi air dengan teknologi membran adalah salah satu solusi untuk mengolah air rawa asin sehingga dapat digunakan dan layak dikonsumsi (Ayu Lestari *et al.*, 2019; Elma, Pratiwi, Rahma, Rampun, & Handayani, 2020; Elma, Rampun *et al.*, 2020; Rahma *et al.*, 2019; Rahma, Elma, Pratiwi, & Rampun, 2020a). Jenis membran anorganik seperti silika baik digunakan karena memiliki kelebihan sifat termal dan kekuatannya yang baik, akan tetapi sifat hidrostabilitas silika yang rendah berpengaruh pada permeat, sehingga nilai fluks dan rejeksi menjadi rendah (Elma, Yacou, Wang, Smart, & Diniz da Costa, 2012). Modifikasi dapat dilakukan untuk menutupi kekurangan membran silika tersebut. Beberapa cara modifikasi yang telah digunakan adalah dengan cara menyisipkan karbon seperti dengan *template* karbon (Elma, Wang, Yacou, & Diniz da Costa, 2015; Wijaya, Duke, & Diniz da Costa, 2009) atau dengan hibrid material karbon (Ladewig *et al.*, 2011; Yang, Elma, Wang, Motuzas, & Diniz da Costa, 2017; Yang, Wang, Motuzas, & Diniz da Costa, 2017).

Karbon berperan untuk menggantikan ikatan hidrogen (-H) yang lemah menjadi ikatan karbon (-C) yang lebih kuat pada grup silanol (Das, Ali, Hamid, Ramakrishna, & Chowdhury, 2014; Duke *et al.*, 2009; Wijaya *et al.*, 2009) dan menyediakan luas permukaan yang tinggi (Pandolfo & Hollenkamp, 2006; Titirici & Antonietti, 2010). Penggunaan karbon menjadi bahan pembuatan membran silika juga berperan untuk meningkatkan stabilitas membran, sehingga dapat digunakan untuk pengolahan air (Rahma, Elma, Pratiwi, & Rampun, 2020b; Rampun *et al.*, 2019; Wang *et al.*, 2016; Yang, Elma *et al.*, 2017). Sumber material karbon mudah didapatkan dan memiliki nilai tinggi dalam pemanfaatan kearifan lokal. Material karbon dapat dijumpai pada pektin kulit mangga (Prasetyowati, Sari, & Pesantri, 2009) dan pektin kulit pisang (Elma, Suryani, Mustalifah, Rahmah, & Baity, 2019). Nipah juga merupakan salah satu sumber karbon yang melimpah di daerah Kalimantan Selatan.

Nipah (*Nypa fructicans*) adalah salah satu spesies utama penyusun hutan mangrove yang berada di sekitar sungai yang dipengaruhi oleh pasang surut air laut (Heriyanto, Subiandono, & Karlina, 2011; Radam, Lusyani, Ulfah, Sari, & Violet, 2018). Pemanfaatan nipah sendiri masih sebatas penggunaan daun sebagai pengganti atap nira dan bahan baku pembuatan gula dan alkohol (Atsari, Wijana, Rahmah, & Sugiarto, 2015). Bagian nipah seperti pelepah dan daun banyak mengandung serat, selulosa, hemiselulosa, lignin, dan banyak kandungan anorganik lainnya (Syabana & Widiastuti, 2018). Nira nipah dapat menghasilkan cairan sukrosa antara 15-17% (Melwita, Hutasoit, & Griyanto, 2016) yang dapat dijadikan sumber karbon. Penelitian Safariyanti, Rahmalia, & Shofiyani (2018) menunjukkan hasil

karakterisasi dari karbon aktif nipah dari tempurung buah nipah tergolong tipe mesopori dari hasil FTIR yang menunjukkan banyaknya ikatan karbon (-C) yang terbentuk sehingga cocok untuk disisipkan ke dalam matriks silika untuk pengolahan air rawa asin. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui kinerja membran nipah-silika untuk desalinasi air rawa asin.

II. BAHAN DAN METODE

2.1 Alat dan Bahan

Peralatan utama yang digunakan dalam penelitian ini adalah *conductivity meter*, *pH meter*, *dipcoater*, *furnace* dan rangkaian alat pervaporasi. Bahan yang digunakan adalah *tetraethyl orthosilikate* (TEOS), karbon nipah, akuades, etanol 99% (EtOH), asam nitrat (HNO₃, Merck), gliserol, amoniak 25% (NH₃, Merck), membran *support macroporous α-Al₂O₃* tubular, nitrogen cair, dan akuades.

2.2 Persiapan Karbon dari Daun Nipah

Daun nipah dicuci menggunakan air mengalir untuk menghilangkan pengotor. Setelah itu dijemur dibawah sinar matahari sampai kering dan berubah warna menjadi coklat. Kemudian daun nipah kering dikarbonisasi dengan *furnace* pada suhu 300°C selama 60 menit. Daun nipah dihaluskan dan diayak dengan ukuran saringan 150 mesh. Bubuk karbon dari daun nipah kering ini selanjutnya akan digunakan pada tahap selanjutnya.

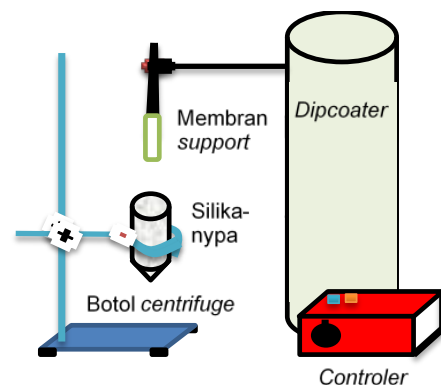
2.3 Sintesis Sol Silika Karbon dari Nipah

Etanol sebanyak 20 mL dimasukan ke dalam botol *schott* dan didinginkan sampai suhu 0°C sambil diaduk menggunakan *magnetic stirrer* dengan kecepatan 360 rpm selama 5 menit. Selanjutnya ditambahkan TEOS sebanyak 18,66 g sedikit demi sedikit dan sambil diaduk setelah itu didiamkan selama 5 menit. Selanjutnya campuran TEOS dan etanol ditetesi HNO₃ 0,00078N sebanyak 8,07 g. Campuran TEOS, etanol dan HNO₃ lalu direflux selama 1 jam pada suhu 50°C dan diaduk dengan kecepatan 360 rpm. Selanjutnya ditetesi NH₃ 0,0003 N

sebanyak 141,127 mL dan direflux kembali selama 2 jam pada suhu yang sama. Setelah itu pH sol silika diukur sampai didapatkan pH ± 6 sebelum kemudian ditambahkan karbon *template* dari karbon nipah. Larutan karbon nipah dapat dibuat sebelumnya dengan cara melarutkan karbon nipah ke dalam gliserol 5 mL sambil diaduk pada kecepatan 600 rpm pada suhu 50°C selama 60 menit. Variasi konsentrasi karbon nipah 0,1; 0,5 dan 2,5 (%berat/volume) dilarutkan ke dalam sol yang telah dibuat sebelumnya selama 45 menit pada kondisi 0°C. Kemudian sol nipah-silika yang telah jadi akan dipakai pada tahap selanjutnya.

2.4 Fabrikasi Membran Silika Karbon dari Nipah

Membran silika karbon dibuat melalui proses pencelupan membran α -Al₂O₃ *tubular support* ke dalam sol nipah-silika yang telah dibuat dengan laju pencelupan dan penarikan masing-masing yaitu 10 dan 5 cm per menit selama 2 menit perendaman (Gambar 1) untuk masing-masing konsentrasi karbon nipah 0,1%; 0,5% dan 2,5%. Selanjutnya dilakukan proses kalsinasi dengan kondisi atmosfer yang dilakukan selama 1 jam menggunakan alat *furnace vacuum* dengan suhu 350 dan 450°C. Pendinginan dilakukan selama 30 menit dan diulangi sampai empat kali sehingga didapatkan membran dengan empat layer.



Gambar 1. Rangkaian Alat Proses *Dipcoating*

2.5 Proses Pervaporasi Air Rawa Asin

Pervaporasi dilakukan dengan alat seperti pada Gambar 2 air umpan yang

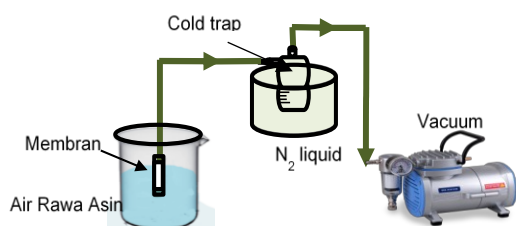
digunakan adalah air rawa asin pada suhu ruang. Metode yang digunakan adalah metode *dead-end* yaitu membran nipah-silika dihubungkan ke pompa vakum dan *cold trap* dengan sisi lain yang ditutup. Proses pervaporasi dilakukan dalam waktu 20 menit. Performa ditentukan dengan menghitung *fluks* melalui Persamaan 1 dan *salt rejection* melalui Persamaan 2.

$$F = m / (A \cdot \Delta t) \quad (1)$$

Keterangan: F = *fluks* permeat ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{jam}^{-1}$)
 m = massa permeat yang terperangkap di dalam *cold trap* (kg)
 A = luas permukaan aktif membran (m^2)
 Δt = waktu pervaporasi (jam)

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

Keterangan: R = *salt rejection* (%)
 C_p = konsentrasi garam pada permeat (% berat)
 C_f = konsentrasi garam pada umpan (% berat)



Gambar 2. Rangkaian Alat Pervaporasi

II. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Karakteristik Air Rawa Asin

Tabel 1. Karakteristik Air Rawa Asin Desa Muara Halayung, Kalimantan Selatan

Parameter	Unit	Nilai	Batas maksimum	Ref
pH	-	7,82	6,5-8,5	Permenkes RI No 492/2010
TDS	(mgL^{-1})	7260	700	Permenkes RI No 492/2010
konduktivitas	($\text{mS} \cdot \text{cm}^{-1}$)	17,4	-	-
NaCl	Ppm	9000	250	EPA 822-F-18-001 2018

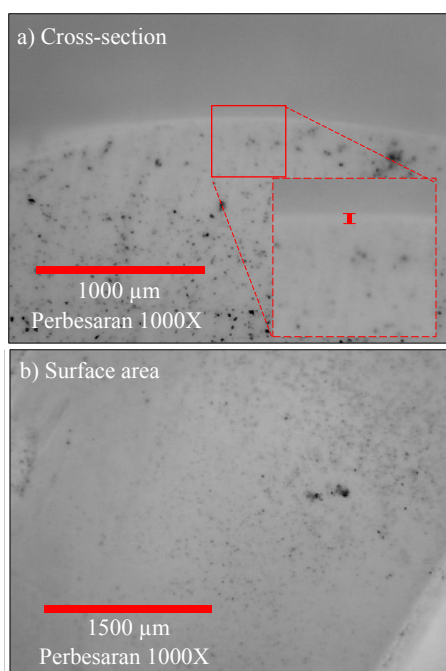
Air rawa yang digunakan pada penelitian ini diambil dari Desa Muara Halayung, Kalimantan Selatan saat musim kemarau. Karakteristik air rawa asin tersebut diukur melalui beberapa parameter seperti yang disajikan pada Tabel 1.

Kandungan garam dari air rawa pada penelitian ini sebesar 0,9% NaCl atau 9000 ppm. Nilai tersebut relatif tinggi dan menyebabkan air rawa menjadi asin yang selanjutnya disebut sebagai air rawa asin. Nilai kadar NaCl pada air rawa asin tersebut masih jauh lebih kecil dibandingkan air rawa asin yang digunakan pada penelitian sebelumnya yaitu 4,6% (Rahma *et al.*, 2019). Umumnya pH air rawa cenderung rendah atau asam berkisar antara 5,7-5,8 seperti pada penelitian yang laporkan oleh Rahma *et al.* (2019), namun nilai pH air rawa asin pada penelitian ini relatif netral, yaitu 7,82 (Tabel 1).

Tabel 1 menunjukkan nilai TDS (*Total Dissolved Solid*) pada sampel air rawa asin yang digunakan pada penelitian ini sangat tinggi, melebihi baku mutu untuk kualitas air minum yaitu 7260 mgL^{-1} (Permenkes RI No 492 tahun 2020). Parameter TDS dapat mengindikasikan keberadaan garam anorganik dan sejumlah besar bahan organik lainnya di dalam air. Kandungan TDS juga berhubungan erat dengan nilai konduktivitas dalam air. Berdasarkan Tabel 1, diketahui nilai konduktivitas air rawa asin sebesar $17,4 \text{ mS} \cdot \text{cm}^{-1}$. Kandungan TDS yang tinggi ini sesuai dengan tingginya konsentrasi NaCl yang diukur, dimana konduktivitas mengindikasikan tingkat salinitas dalam air (Han, Kohfahl, Song, Xiao, & Yang, 2011).

3.2 Struktur Membrane Nipah-silika

Struktur membran nipah silika tampak pada Gambar 3; a) penampang melintang (*cross-section*) dan b) tampak permukaan area diamati menggunakan mikroskopik digital mini. Hasil foto perbesaran 1000X membran nipah-silika 2,5% yang dikalsinasi pada suhu 350°C ditunjukkan pada Gambar 3. Dapat dilihat bahwa terdapat bintik-bintik hitam pada permukaan membran akibat adanya *templated* atau penyisipan karbon nipah ke dalam matriks silika seperti yang ditunjukkan Gambar 3(b). Karbon nipah tersebut berfungsi sebagai *template* agen yang bertugas untuk meningkatkan hidrostabilitas pori silika. Hasil tersebut sama dengan penelitian yang telah dilaporkan oleh Elma, Fitriani, Rakhman, & Hidayati (2018) dan Rahma, Elma, Pratiwi, & Rampun (2020) yang menyisipkan karbon P123 dan karbon dari pektin kulit apel untuk membuat membran silika-karbon. Selain itu didapatkan ketebalan *thin film* nipah-silika relatif tipis seperti yang dapat dilihat pada Gambar 3(a).

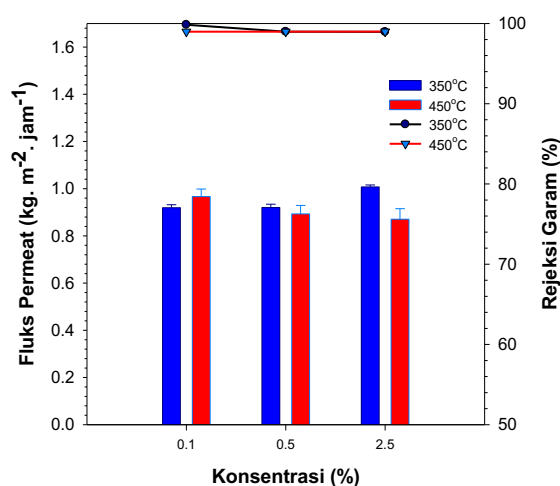


Gambar 3. Foto Perbesaran Membran Nipah-Silika Tampak (a) *Cross-Section* Dan (b) *Surface Area* yang Diambil Menggunakan Mikroskop Digital Mini.

Ketebalan *top layer* atau lapisan atas membran nipah-silika yang didapatkan adalah berkisar 1-2 µm (Gambar 3(a)). Hasil ketebalan *top layer* membran nipah-silika cenderung lebih tebal dibandingkan dengan membran silika-P123 yang dihasilkan pada penelitian Elma, Wang, Yacou, & Costa (2015). Hal ini terjadi karena metode kalsinasi yang dipakai pada penelitian ini adalah RTP (*rapid thermal processing*), sedangkan penelitian yang dilaporkan oleh Elma *et al.* (2015) menggunakan metode CTP (*conventional thermal processing*).

3.3. Kinerja Membran Silika-Pektin

Performa membran nipah-silika dengan variasi suhu 350 dan 450°C yang diaplikasikan untuk air rawa asin terlihat pada Gambar 4. Hasil penelitian menunjukkan nilai *water flux* dari membran dengan konsentrasi karbon 0,1; 0,5 dan 2,5% dengan suhu kalsinasi 350°C adalah berturut-turut 0,919; 0,921; dan 1,008 $\text{kgm}^{-2}\text{jam}^{-1}$ (Gambar 4). Sedangkan membran dengan konsentrasi karbon 0,1; 0,5; dan 2,5% dengan suhu kalsinasi 450°C adalah berturut-turut 0,967; 0,893; dan 0,871 $\text{kgm}^{-2}\text{jam}^{-1}$. Berdasarkan hasil diatas, *water flux* tertinggi didapat pada konsentrasi nipah 2,5% pada suhu 350°C yaitu 1,008 $\text{kgm}^{-2}\text{jam}^{-1}$ dan konsentrasi nipah 0,1% pada suhu 450°C yaitu 0,967 $\text{kgm}^{-2}\text{jam}^{-1}$. Hasil persentase *salt rejection* pada proses pervaporasi air rawa asin dengan suhu umpan 25°C dan menggunakan membran dengan konsentrasi karbon 0,1; 0,5 dan 2,5% suhu kalsinasi 350°C berturut-turut adalah 99,8%; 98,9%; dan 98,9%. Sedangkan untuk suhu kalsinasi 450°C adalah 98,9%; 98,9%; dan 98,9%. Hasil tersebut menandakan semua membran nipah-silika yang disisipkan karbon nipah dengan variasi konsentrasi 0,1-2,5% dan dikalsinasi pada suhu 350-450°C memiliki nilai rejeksi yang tinggi mendekati 100%. Hasil ini juga sejalan dengan beberapa penelitian sebelumnya, bahwa membran berbasis silika memiliki kemampuan yang bagus untuk merejeksi garam hingga >99% (Elma *et al.*, 2020).



Gambar 4. Performa Membran Nipah-Silika pada Suhu Feed 25°C yang Dikalsinasi 350°C

Perbedaan performa membran terlihat berbeda pada kedua suhu kalsinasi. Suhu yang tinggi dapat mempercepat reaksi kondensasi dari grup silanol dan mengurangi permeat, sehingga pada suhu yang lebih tinggi menyebabkan nilai *fluks* lebih rendah. Rendahnya silanol dan pembentukan siloksan yang terlalu tinggi dapat membuat membran lebih kuat, tetapi dapat menyebabkan pori menjadi jauh lebih besar dan berdampak pada rejeksi yang lebih rendah sehingga mengakibatkan kalsinasi dengan suhu rendah akan berpengaruh lebih signifikan bila ditambahkan dengan konsentrasi

karbon pektin yang lebih tinggi (Rampun *et al.*, 2019).

Konsentrasi permeat garam yang didapat dari umpan air rawa asin untuk konsentrasi karbon nipah 0,1, 0,5 dan 2,5% dari kalsinasi 350°C adalah berturut-turut 27, 35 dan 43 ppm. Kandungan garam pada permeat yang dihasilkan tidak berbeda signifikan, hal ini sesuai dengan nilai rejeksi garam >98% seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4. Sedangkan konsentrasi permeat garam untuk konsentrasi karbon nipah 0,1, 0,5 dan 2,5% dari kalsinasi 450°C adalah berturut-turut 34, 32 dan 29 ppm. Nilai konsentrasi tersebut jauh dari 600 ppm (total garam terlarut) yang merupakan total konsentrasi garam yang ditoleransi oleh *World Health Organization* (WHO) (Elma, Yacou, Diniz da Costa, & Wang, 2013) untuk air minum. Sehingga terbukti bahwa membran nipah-silika ini dapat digunakan untuk mengolah air rawa asin pada kondisi suhu ruangan dengan kinerja yang baik.

Performa berbagai jenis membran berbasis silika untuk desalinasi air rawa asin dirangkum dalam Tabel 2. Nilai *fluks* membran nipah-silika pada penelitian ini relatif rendah dibandingkan penelitian yang telah dipublikasikan sebelumnya. Namun nilai rejeksi garam yang dihasilkan cukup dapat bersaing dengan jenis membran lain yakni >99% (Elma, Fitriani *et al.*, 2018; Elma, Hairullah, & Assyaifi, 2018).

Tabel 2. Perbandingan Nilai *Fluks* dan Rejeksi Garam Berbagai Jenis Membran Berbasis Silika untuk Desalinasi Air Rawa Asin

Jenis membran	Teknik kalsinasi	Suhu feed (°C)	Konsentrasi NaCl feed (%)	<i>Fluks</i> permeat (kg.m ⁻² .h ⁻¹)	Rejeksi garam (%)	Referensi
Nipah-silika 2,5% kalsinasi 350 °C	RTP	25	0,9	1,008	99	Hasil penelitian
Silika-pektin	RTP	25-60	3,4	4,48-11,6	99	(Rahma <i>et al.</i> , 2019)
Koagulasi pH 7 & membran	RTP	25-60	3,4	5,4-12,4	100	(Elma, Rahma, Pratiwi, Erdina, & Rampun, 2020)
Silika-P123	RTP	25	3,2	1,25-1,67	66-96	(Elma, Fitriani, Rakhman, & Hidayati, 2018)
Pure silika	RTP	25-60	3,2	0,84-1,19	70-85	(Elma, Hairullah, & Assyaifi, 2018)

Tabel 2 juga membuktikan kemampuan karbon dalam meningkatkan rejeksi silika dalam bidang desalinasi. Tanpa penambahan karbon, membran silika hanya menyisihkan garam sebesar 70-85%. Karbon dapat menambah sifat hidrofobik membran silika dengan cara menggantikan Si-OH menjadi Si-C (Elma, Hairullah, & Assyaifi, 2018).

Seperti yang sudah dijelaskan sebelumnya, bahwa tanaman nipah banyak dijumpai di daerah rawa. Penyisipan karbon nipah merupakan suatu inovasi untuk meningkatkan kekuatan membran silika. Rejeksi yang dihasilkan pada penelitian ini sangat tinggi karena penggunaan katalis asam-basa menghasilkan gabungan pori yaitu mesopori dan mikropori. Partikel garam akan tertahan pada pori yang kecil. Sedangkan molekul air (H₂O) memiliki ukuran lebih kecil daripada pori membran akan lebih mudah lolos (Elma, Yacou, Diniz da Costa, & Wang, 2013).

III. KESIMPULAN DAN SARAN

Templated membran silika dengan penambahan karbon nipah dapat mempengaruhi kinerja membran dalam proses desalinasi air rawa asin melalui *pervaporasi*. Performa membran terbaik pada suhu kalsinasi 350°C menunjukkan hasil terbaik pada konsentrasi karbon nipah 2,5% dengan nilai fluks 1,008 kgm⁻²jam⁻¹. Performa membran pada suhu kalsinasi 450°C menunjukkan hasil terbaik pada konsentrasi nipah 0,1% sebesar 0.967 kgm⁻²jam⁻¹. Nilai rejeksi garam pada membran nipah-silika rata-rata > 98% dengan konsentrasi permeat garam terendah pada suhu 350°C yaitu 27 ppm pada konsentrasi nipah 0,1% dan suhu 450°C sebesar 29 ppm pada konsentrasi karbon nipah 2,5%. Hasil kandungan garam terlarut pada air rawa asin setelah dilakukan desalinasi menggunakan membran nipah-silika memiliki nilai yang sesuai dengan standar WHO tentang panduan untuk kualitas air minum.

Penelitian ini masih memiliki kekurangan terutama untuk performa

membran nipah-silika yang dilihat dari hasil nilai *fluks* yang masih belum optimal, sehingga diperlukan penggunaan katalis asam dan basa yang tepat untuk mendesain ukuran pori membran silika-nipah. Disarankan untuk melakukan percobaan dengan memvariasikan suhu air umpan proses *pervaporasi* agar hasil *water flux* yang dihasilkan dapat meningkat. Selain itu, bisa dilakukan percobaan dengan mengganti material karbon lainnya untuk membuat membran silika-karbon.

UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada M²ReG (*Materials and Membranes Research Group*) atas fasilitas selama melaksanakan penelitian. Hibah *Worlds Class Research* 2021-2022, Tesis Magister 2020, Penelitian Terapan Unggulan Perguruan Tinggi 2019-2020, Direktorat Riset dan Pengabdian Masyarakat (DPRM) Kemenristekdikti dan Hibah Dosen Wajib Meneliti Universitas Lambung Mangkurat PNBPN 2020.

DAFTAR PUSTAKA

- Abedin, M. A., Habiba, U., & Shaw, R. (2014). Community perception and adaptation to safe drinking water scarcity: salinity, arsenic, and drought risks in coastal bangladesh. *International Journal of Disaster Risk Science*, 5(2), 110–124. <https://doi.org/10.1007/s13753-014-0021-6>
- Amir, M. R. (2019). Studi kelayakan air tanah untuk kebutuhan air minum di kelurahan romang polong kecamatan somba opu kabupaten gowa. *Jurnal Environmental Science*, 2(1), 43–53.
- Atsari, I., Wijana, S., Rahmah, N. L., & Sugiarto, E. (2015). Ketahanan tarik kertas seni dari serat pelepah nipah (*Nypa fruticans*) (Kajian Proporsi Bahan Baku dan Perekat). *Prosiding Seminar Agroindustri dan Lokakarya Nasional FKPT-TPI* (pp.

- 2–3). Madura, Indonesia: University of Trunojoyo Madura.
- Ayu Lestari, R., Elma, M., Rahma, A., Suparsih, D., Anadhliyah, S., Ledyana Sari, N., Satriaji, G. (2019). Organo silica membranes for wetland saline water desalination: effect of membranes calcination temperatures. *E3S Web of Conference ETMC and RC EnvE*. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/201912026>
- Das, R., Ali, M. E., Hamid, S. B. A., Ramakrishna, S., & Chowdhury, Z. Z. (2014). Carbon nanotube membranes for water purification: a bright future in water desalination. *Desalination*, 336(1), 97–109. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2013.12.026>
- Duke, M. C., O'Brien-Abraham, J., Milne, N., Zhu, B., Lin, J. Y. S., & Diniz da Costa, J. C. (2009). Seawater desalination performance of MFI type membranes made by secondary growth. *Separation and Purification Technology*, 68(3), 343–350. <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2009.06.003>
- Elma, M., Fitriani, Rakhman, A., & Hidayati, R. (2018). Silica P123 membranes for desalination of wetland saline water in South Kalimantan. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 175 (pp. 1-5). Makasar, Indonesia: Universitas Muslim Indonesia.
- Elma, M., Hairullah, & Assyaifi, Z. L. (2018). Desalination process via pervaporation of wetland saline water. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 175 (pp. 1-6). Makasar, Indonesia: Universitas Muslim Indonesia.
- Elma, M., Pratiwi, A. E., Rahma, A., Rampun, E. L. A., & Handayani, N. (2020). The performance of membranes interlayer-free silica-pectin templated for seawater desalination via pervaporation operated at high temperature of feed solution. In *Materials Science Forum: Vol. 981 MSF* (pp. 349–355). <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/MSF.981.349>
- Elma, M., Rahma, | Aulia, Pratiwi, A. E., Erdina, |, & Rampun, L. A. (2020). Coagulation as pretreatment for membrane-based wetland saline water desalination. *Wiley Asia-Pacific Journal of Chemical Engineering*, Vol. 15(14), (pp. 1–7). <https://doi.org/10.1002/apj.2461>
- Elma, M., Rampun, E. L. A., Rahma, A., Assyaifi, Z. L., Sumardi, A., Lestari, A. E. Darmawan, A. (2020). Carbon templated strategies of mesoporous silica applied for water desalination: a review. *Journal of Water Process Engineering*, 38, 101520. <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2020.101520>
- Elma, M., Suryani, L., Mustalifah, F. R., Rahmah, D., & Baity, N. (2019). Pengaruh konsentrasi pektin kulit pisang terhadap kinerja membran silika yang diaplikasikan pada air payau. *Jukung (Jurnal Teknik Lingkungan)*, 5(2), 45–51.
- Elma, M., Wang, D. K., Yacou, C., & Diniz da Costa, J. C. (2015). Interlayer-free p123 carbonised template silica membranes for desalination with reduced salt concentration polarisation. *Journal of Membrane Science*, 475(2015), 376–383. <https://doi.org/10.1016/j.memsci.2014.10.026>
- Elma, M., Yacou, C., Diniz da Costa, J. C., & Wang, D. K. (2013). Performance and long term stability of mesoporous silica membranes for desalination. *Membranes*, 3(3), 136–150. <https://doi.org/10.3390/membranes3030136>
- Elma, M., Yacou, C., Wang, D. K., Smart, S., & Diniz da Costa, J. C. (2012). Microporous silica based

- membranes for desalination. *Water (Switzerland)*, 4(3), 629–649. <https://doi.org/10.3390/w4030629>
- Han, D., Kohfahl, C., Song, X., Xiao, G., & Yang, J. (2011). Geochemical and isotopic evidence for palaeo-seawater intrusion into the south coast aquifer of Laizhou Bay, China. *Applied Geochemistry*, 26(5), 863–883.
- Heriyanto, Subiandono, E., & Karlina, E. (2011). Potensi dan sebaran nipah (*nypa fruticans* (thunb.) wurmb) sebagai sumberdaya pangan. *Jurnal Pendidikan Hutan dan Konservasi Alam*, 8(4), 327–335.
- Ladewig, B. P., Tan, Y. H., Lin, C. X. C., Ladewig, K., Diniz da Costa, J. C., & Smart, S. (2011). Preparation, characterization and performance of templated silica membranes in non-osmotic desalination. *Materials*, 4(5), 845–856. <https://doi.org/10.3390/ma4040845>
- Liu, J., Yang, H., Gosling, S. N., Kummur, M., Flörke, M., Pfister, S., ... Oki, T. (2017). Water scarcity assessments in the past, present, and future. *Earth's Future*, 5(6), 545–559. <https://doi.org/10.1002/2016EF000518>
- Mariana, Z. T., Mahbub, M., & Hayati, A. (2015). Sustainable land management supports organic farming in tidal swamp area of south kalimantan: water quality. *Journal of Wetlands Environmental Management*, 3(2), 95–100. <https://doi.org/10.20527/jwem.v3i2.21>
- Melwita, E., Hutasoit, J., & Griyantoro, D. (2016). Pengaruh waktu fermentasi dan kadar air nira nipah dalam pembuatan bioetanol menggunakan *Saccharomyces cerevisiae*. *Jurnal Teknik Kimia*, 22(3), 41.
- Oki, T., & Quiocho, R. E. (2020). Economically challenged and water scarce: identification of global populations most vulnerable to water crises. *International Journal of Water Resources Development*, 36(2–3), 416–428. <https://doi.org/10.1080/07900627.2019.1698413>
- Pandolfo, A. G., & Hollenkamp, A. F. (2006). Carbon properties and their role in supercapacitors. *Journal of Power Sources*, 157(1), 11–27. <https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2006.02.065>
- Prasetyowati, Sari, K. P., & Pesantri, H. (2009). Ekstraksi pektin dari kulit mangga. *Jurnal Teknik Kimia*, 16(4), 42–49.
- Radam, R. M., Lusiyani, L., Ulfah, D., Sari, N. M., & Violet, V. (2018). Kualitas briket arang dari kulit sabut buah nipah (*Nypa fruticans* Wurmb) dalam menghasilkan energi. *Jurnal Hutan Tropis*, 6(1), 52. <https://doi.org/10.20527/jht.v6i1.5105>
- Rahma, A., Elma, M., Mahmud, Irawan, C., Pratiwi, A. E., & Rampun, E. L. A. (2019). Removal of natural organic matter for wetland saline water desalination by coagulation-pervaporation. *Jurnal Kimia Sains dan Aplikasi*, 22(3), 85–92. Retrieved from <https://ejournal.undip.ac.id/index.php/ksa/article/view/22630/15211>
- Rahma, A., Elma, M., Pratiwi, A. E., & Rampun, E. L. A. (2020). Performance of interlayer-free pectin template silica membranes for brackish water desalination. *Membrane Technology*, 2020(6), 7–11. [https://doi.org/10.1016/S0958-2118\(20\)30108-7](https://doi.org/10.1016/S0958-2118(20)30108-7)
- Rampun, E. L. A., Elma, M., Syaughiah, I., Putra, M. D., Rahma, A., & Pratiwi, A. E. (2019). Interlayer-free membran silika pektin untuk pervaporasi air rawa asin. *Jurnal Kimia Sains dan Aplikasi*, 22(3), 99–104.
- Safariyanti, S. J., Rahmalia, W., & Shofiyani, A. (2018). Sintesis dan

- karakteristik karbon aktif dari tempurung buah nipah (*Nypa fruticans*) menggunakan aktivator asam klorida. *Jurnal Kimia Khatulistiwa*, 7(2), 41–46.
- Syabana, D. K., & Widiastuti, R. (2018). Karakteristik fisik pada serat pelepah nipah (*Nypa fruticans*). *Dinamika Kerajinan dan Batik: Majalah Ilmiah*, 35(1), 9. <https://doi.org/10.22322/dkb.v35i1.3771>
- Titirici, M. M., & Antonietti, M. (2010). Chemistry and materials options of sustainable carbon materials made by hydrothermal carbonization. *Chemical Society Reviews*, 39(1), 103–116. <https://doi.org/10.1039/b819318p>
- Wang, D. K., Elma, M., Motuzas, J., Hou, W. C., Schmeda-Lopez, D. R., Zhang, T., & Zhang, X. (2016). Physicochemical and photocatalytic properties of carbonaceous char and titania composite hollow fibers for wastewater treatment. *Carbon*, 109(2016), 182–191. <https://doi.org/10.1016/j.carbon.2016.08.001>
- Wijaya, S., Duke, M. C., & Diniz da Costa, J. C. (2009). Carbonised template silica membranes for desalination. *Desalination*, 236(1–3), 291–298. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2007.10.079>
- Yang, H., Elma, M., Wang, D. K., Motuzas, J., & Diniz da Costa, J. C. (2017). Interlayer-free hybrid carbon-silica membranes for processing brackish to brine salt solutions by pervaporation. *Journal of Membrane Science*, 523(1), 197–204. <https://doi.org/10.1016/j.memsci.2016.09.061>
- Yang, H., Wang, D. K., Motuzas, J., & Diniz da Costa, J. C. (2017). Hybrid vinyl silane and p123 template sol-gel derived carbon silica membrane for desalination. *Journal of Sol-Gel Science and Technology*, 85(2018), 280-289. <https://doi.org/10.1007/s10971-017-4562-1>