

APLIKASI MEMBRAN *INTERLAYER-FREE* SILIKA-PEKTIN PADA PENGOLAHAN AIR PAYAU DAN AIR RAWA ASIN

Application of Interlayer-free Silika-pektin Membrane for Brackish and Wetland Saline Water Desalination

Muthia Elma *, Amalia E. Pratiwi, Erdina L. A. Rampun, Aulia Rahma

Program Studi Magister Teknik Kimia Universitas Lambung Mangkurat, Jl. A. Yani KM 36, Banjarbaru, Kalimantan Selatan, Indonesia

*Penulis koresponden: melma@ulm.ac.id

Abstract

Keterbatasan air bersih telah menjadi masalah serius dikarenakan pesatnya pertumbuhan penduduk. Sementara itu, sebagian besar masyarakat Kalimantan Selatan masih menggunakan air rawa sebagai salah satu sumber air bersih. Akan tetapi adanya proses intrusi air laut menyebabkan air menjadi tidak layak konsumsi. Desalinasi membran melalui penguapangan dapat digunakan untuk menghilangkan kandungan garam tersebut. Membran merupakan teknologi yang populer dalam proses desalinasi. Material silika adalah yang paling digemari karena memiliki stabilitas termal, kimia dan mekanik yang baik. Namun dikarenakan nilai hidrostabilitasnya yang rendah, diperlukan penyisipan material karbon ke dalam matriks silika. Jadi, dengan diikatkannya material karbon yang berasal dari pektin ke material silika ini diharapkan dapat meningkatkan hidrostabilitas. Membran ini dibuat menggunakan TEOS sebagai prekursor serta pektin (0.1 wt%) yang dikalsinasi pada suhu 300°C. Performa membran diuji menggunakan umpan air payau (0.3-1 wt%) dan air rawa asin pada suhu ruang (~25 °C). Dari hasil uji FTIR menunjukkan adanya gugus silanol, siloxane dan karbon. Morfologi membran menggunakan SEM menunjukkan permukaan membran (thin film) yang tidak retak, memiliki pori (tidak dense) dengan ketebalan layer thin film ~1 µm. Penelitian ini berhasil mendapatkan fluks air sampai 3.45 kg.m⁻².h⁻¹ (0.3 wt%), 0.8 kg.m⁻².h⁻¹ (1 wt%), dan 0.6 kg.m⁻².h⁻¹ (3.5 wt%). Rejeksi yang sangat tinggi juga diperoleh hingga >99%. Dapat disimpulkan membran interlayer-free silika-pektin meningkatkan kemampuan membran untuk diaplikasikan pada desalinasi air payau dan air rawa asin. Hal ini terbukti dari performanya yang bagus dan kuat.

Kata kunci: air payau, air rawa asin, desalinasi, membran, pektin

1. PENDAHULUAN

Air bersih merupakan kebutuhan dasar dan primer untuk menjamin kelangsungan hidup manusia. Namun, tidak semua daerah mempunyai sumber daya air yang baik. Wilayah pesisir pantai dan pulau-pulau kecil di pesisir pantai merupakan daerah yang miskin akan sumber air tawar, sehingga timbul masalah pemenuhan kebutuhan air minum. Sumber daya air yang tersedia umumnya berkualitas buruk dengan konsentrasi garam yang tinggi, misalnya air tanah yang payau atau air permukaan (air rawa) yang terintrusi air laut.

Air payau adalah campuran antara air tawar dan air laut (air asin). Air payau dan air terintrusi dapat diolah menjadi air bersih dengan mengurangi kandungan garam terlarut didalamnya dengan desalinasi (Pinem dan Adha 2008). Jika kadar garam yang terkandung dalam satu liter air adalah antara 0,5 sampai 30 gram, maka air ini disebut air payau. Namun, jika konsentrasi garam melebihi 30 gram dalam satu liter air disebut air asin. Konsentrasi garam dapat dihilangkan dengan

proses desalinasi yang umumnya dilakukan menggunakan membran.

Teknologi membran terbukti efektif dalam mengolah air payau hingga air asin dengan konsentrasi garam yang tinggi (Qian, Li, Wang, dan Ji 2018). Proses desalinasi dapat dilakukan menggunakan metode penguapangan yang dinilai cocok untuk mengatasi air dengan konsentrasi garam yang tinggi (Chaudhri Chaudhari, dan Singh 2018; Yang, Wang, Motuzas, dan Costa 2018). Proses penguapangan (PV) terjadi dengan melewati air umpan (*feed*) secara langsung dengan memanaskan air umpan dan dalam kondisi vakum. Menurut Wang, Li, Bolto, Hoang, and Xie (2016) PV merupakan metode yang sangat efektif dalam proses desalinasi dari sumber air asin *non-portable* untuk memperoleh air tawar dengan kemampuan rejeksi garam yang tinggi. Selain pemilihan sistem yang digunakan pada proses desalinasi, penggunaan jenis membran juga sangat mempengaruhi efektifitas pengolahan air laut.

Membran silika merupakan membran anorganik yang banyak digunakan. Stabilitas termal

dan kimia yang baik, fluks dan selektivitas yang tinggi serta masa pakai yang lebih lama merupakan kelebihan dari membran silika. Namun demikian, apabila diaplikasikan pada proses desalinasi dan mengalami kontak dengan air dalam rentang waktu yang lama dapat menurunkan hidrostabilitas membran (Duke, Costa, Lu, Petch, dan Gray, 2004; Elma, dan Setyawan 2018; Elma, Yacou, Costa, dan Wang 2013a). Hidrostabilitas membran dapat ditingkatkan dengan melakukan *carbon template* seperti yang dilakukan oleh (Elma dan Setyawan 2018; Elma, Wang, Yacou, dan Costa 2015b; Yang, Elma, Wang, Motuzas, dan Costa 2017a). pada penelitian ini, *carbon template* dilakukan menggunakan karbon dari pektin yang diperoleh dari kulit apel. Pektin umumnya digunakan dalam industri makanan dan pertanian yaitu untuk *packaging* (Nešić *et al.* 2017) yang ramah lingkungan, *edible film* (Giosafatto *et al.* 2014) dan pengental (Maftoonazad, Ramaswamy, Moalemiyan, dan Kushalappa 2007).

Selain itu, membran silika yang disintesa menggunakan proses sol gel dan dual katalis sehingga memiliki pori yang mesopori. Membran dengan pori yang mesopori sangat aplikatif untuk proses desalinasi dengan pori yaitu antara 3-5 Å yang mampu melewati air dari ion hidrat dengan baik ($d_k = 2.5 \text{ Å}$) dan menahan molekul garam (yaitu, Na^+ : $d_k = 7.2 \text{ Å}$ and Cl^- : $d_k = 6.6 \text{ Å}$) (Elma, Wang, Yacou, Motuzas, dan Costa 2015c; Yang, Elma, Wang, Motuzas, dan Costa 2017b). Dengan demikian, penelitian ini difokuskan pada pengolahan air payau dan air rawa asin dengan proses desalinasi menggunakan Teknologi membran. Istilah teknis harus dijelaskan, kecuali yang sudah dipahami umum.

2. METODE

Bahan-bahan yang digunakan pada penelitian ini yaitu *teraethyl orthosilicate* (TEOS) sebagai precursor silika, pektin apel ($\text{C}_6\text{H}_{10}\text{O}_7$, Sigma-Aldrich) sebagai sumber karbon, gliserol, etanol (EtOH) sebagai pelarut, dual katalis asam (HNO_3 , Merck) dan basa ammonia (NH_3 , Merck) serta substrat $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ *macroporous tubular* sebagai membran *support*.

2.1 Preparasi Sol Silika-pektin

Preparasi sol silika dilakukan dengan metode sol-gel menggunakan dual katalis asam dan basa. Tahapan prosedur pembuatan sol silika sama dengan penelitian sebelumnya yang telah dilaporkan Elma dan Assyaifi (2018); Elma *et al.* (2015b); Elma,

Yacou, Costa, and Wang (2013b). Setelah didapatkan sol silika dengan pH 6, selanjutnya dilakukan penyisipan karbon dari pektin. Pektin yang telah dilarutkan dengan gliserol ditambahkan kedalam sol silika sambil diaduk pada suhu 0°C selama 45 menit. Kalsinasi di suhu 300°C selama 1 jam selanjutnya dilakukan guna menguji FTIR (Fourier Transform Infra Red).

2.2 Pembuatan Membran Silika-pektin

Setelah diperoleh silica-pektin sol, dilakukan proses *dip-coating* (pelapisan) *thin film* ke membran *support*. *Dipcoating* dilakukan dengan cara mencelupkan membran $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ *tubular support* kedalam sol Silika-pektin yang telah dibuat dengan laju pencelupan dan penarikan masing-masing yaitu 10 cm per menit dan 5 cm per menit selama 2 menit perendaman. Kalsinasi selanjutnya dilakukan selama 1 jam dengan suhu 300°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 *Scanning Electron Microscope* (SEM) untuk mengetahui morfologinya.

2.3 Proses Pervaporasi

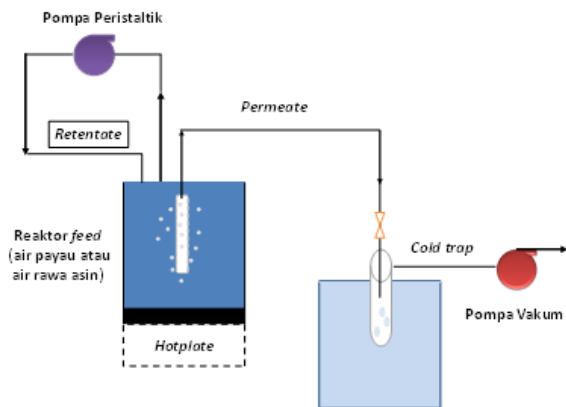
Pada tahap ini dilakukan uji performansi membran silika-pektin menggunakan air payau artifisial (konsentrasi garam 0.3 dan 1 % (b/b)) dan air rawa asin. Air umpan dengan variasi konsentrasi garam bertujuan untuk mengetahui ketahanan dan kemampuan membran *interlayer-free* silika-pektin dalam menyisihkan garam dan fluks yang dihasilkan. Pervaporasi dilakukan menggunakan *set-up* alat seperti pada Gambar 1. Kondisi operasi adalah tekanan 1 bar dengan suhu ruang ($25^\circ\text{C} \pm 2^\circ\text{C}$). Performansi ditentukan dengan menghitung *water flux* dan *salt rejection*. Fluks air ($\text{kg}/\text{m}^2.\text{h}$) ditentukan berdasarkan persamaan 1:

$$F = \frac{m}{A \cdot \Delta t} \quad \dots (1)$$

dengan m, massa permeat (kg) yang tertahan dalam *cold trap*, A adalah luas permukaan aktif membran (m^2) dan Δt adalah waktu pengukuran (h). Rejeksi garam, R (%) dihitung menggunakan persamaan 2:

$$R = \frac{C_f - C_p}{C_f} \times 100\% \quad \dots (2)$$

dengan C_f (feed) dan C_p (permeate) merupakan konsentrasi garam. Analisis data dilakukan melalui uji kualitas air meliputi nilai fluks, parameter TDS and konduktivitas air.



Gambar 1. Set-up alat pervaporasi

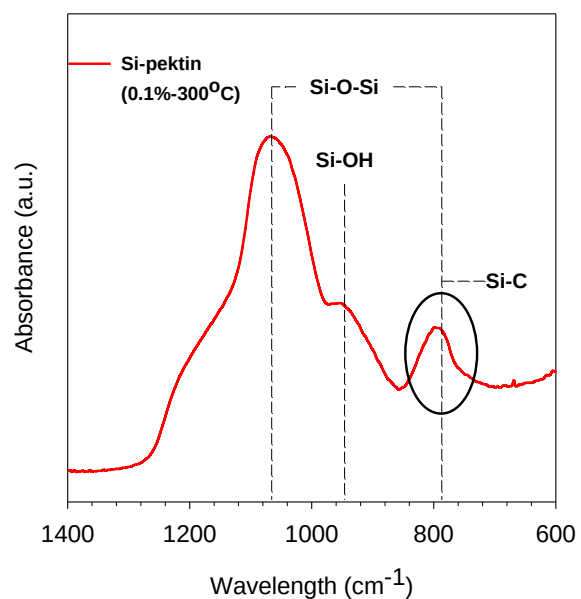
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Uji FTIR dan SEM Membran Silika-pektin

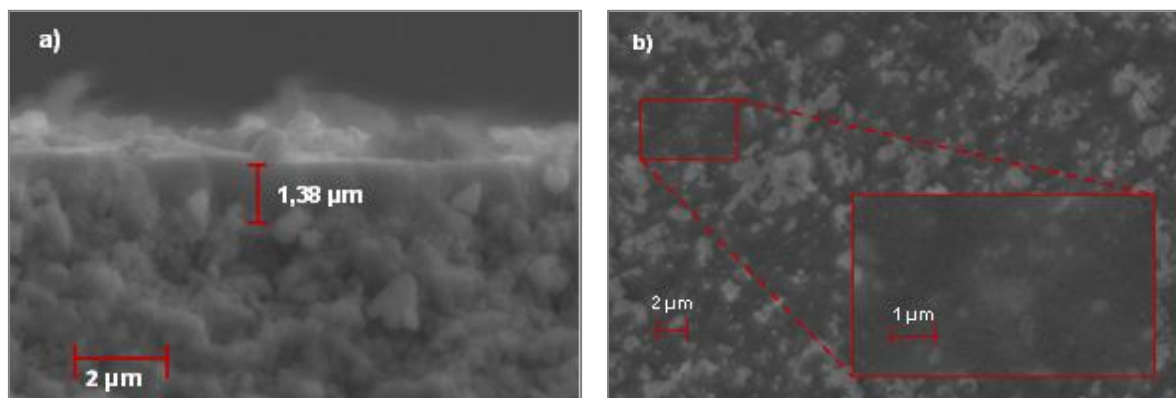
Uji FTIR digunakan untuk mengkarakterisasi struktur kimia dari sol silika-pektin. Silanol dan siloxane erat hubungannya dengan ukuran pori membran yang dihasilkan. Keberadaan siloxane dan silanol memiliki kemampuan untuk mengatur pori menjadi besar ataupun kecil (Elma *et al.* 2015c). Banyaknya silanol cenderung akan menghasilkan pori kecil disebut dengan mikropori. Sedangkan siloxane membentuk pori berukuran lebih besar. Grafik FTIR terlihat di Gambar 2. Dari gambar tersebut dapat dilihat panjang spektra mulai dari 1400-600 cm^{-1} . Terlihat struktur siloxane ditemukan pada panjang gelombang ~ 789 dan $\sim 1040 \text{ cm}^{-1}$. Sedangkan silanol terdapat pada panjang gelombang $\sim 925 \text{ cm}^{-1}$. Adanya karbon yang berasal dari pektin juga terlihat pada panjang gelombang $\sim 789 \text{ cm}^{-1}$. Karbon berperan dalam memperkuat matriks silika.

Morfologi membran silika-pektin dianalisis menggunakan analisa SEM seperti yang ditunjukkan pada

Gambar 3. Umumnya membran anorganik yang terbuat dari material silika memiliki ketebalan *thin film* 30-50 nm jika menggunakan metode CTP, sedangkan dengan metode RTP memiliki ketebalan $> 50 \text{ nm}$ (Elma, Yacou, Wang, Smart, dan Costa 2012; S. Wang, Wang, Smart, dan Costa 2017). Ketebalan *thin film* yang dihasilkan dari membran silika-pektin pada penelitian ini $< 1 \mu\text{m}$ sama dengan hasil tersebut, karena menggunakan metode yang sama yaitu RTP. Ketebalan *thin film* menggunakan metode CTP cenderung lebih tipis dibandingkan menggunakan metode RTP.



Gambar 2 Uji FTIR membrane silika-pektin



Gambar 3. Morfologi membran silika-pektin dengan foto SEM (a) cross-section (b) surface

Pada

Gambar 3(b) dapat dilihat permukaan membran silika-pektin memiliki permukaan yang tidak halus. Hal tersebut karena membran yang diteliti tidak menggunakan *interlayer* atau yang disebut *interlayer-free* seperti yang telah dilaporkan (Elma, Wang, Yacou, dan Costa 2015a; Elma *et al.* 2015b). Sol silika-pektin pada thin film secara langsung menginfiltirasi ke dalam substrat membran alumina yang digunakan sebagai membran *support*. Sedangkan pada

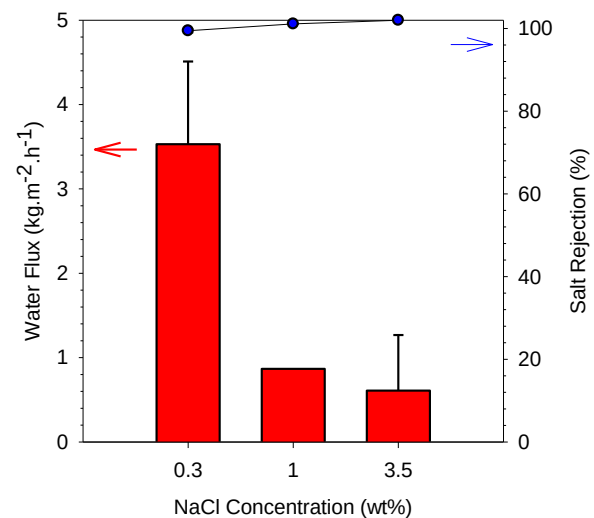
Gambar 3(a) dapat dilihat foto SEM membran silika-pektin tampak *cross-section* menunjukkan ketebalan *thin film* yang dihasilkan adalah 760 nm. Hasil tersebut berbeda jauh dengan ketebalan thin film yang dilaporkan Wang *et al.* (2017), yang 3-5 kali lebih tebal dibandingkan membran yang digunakan pada penelitian ini. Hal ini terjadi karena prekursor silika yang digunakan berbeda yaitu TEOS bukan ES40. TEOS menghasilkan thin film yang lebih tipis dan kaku dibandingkan menggunakan ES40, karena strukturnya yang lebih banyak memiliki gugus silanol (Si-OH) dibanding grup siloxane (Si-O-Si) (Wang, Chen, Motuzas, Smart, dan Costa 2017). Ketebalan membran sangat mempengaruhi nilai fluks yang dihasilkan. Semakin tipis *thin film* maka berbanding lurus dengan nilai fluks yang semakin besar pula. Namun dengan syarat membran tersebut berpori atau tidak *dense*.

3.2 Performansi Membran Silika-pektin

Proses desalinasi air payau artifisial menggunakan umpan NaCl yang divariasikan (0.3 dan 1 wt%) dan air rawa asin dilakukan pada penelitian ini guna melihat performa membran silika-pektin. Air rawa asin yang digunakan pada penelitian ini memiliki konsentrasi garam mendekati $\approx$ konsentrasi garam untuk air laut, 3.5 wt%. Membran silika-pektin yang digunakan memiliki konsentrasi pektin 0.1% dan dikalsinasi pada suhu 300°C. Pervaporasi membran pada variasi konsentrasi NaCl ditampilkan seperti pada Error! Reference source not found..

Error! Reference source not found. menunjukkan hasil fluks tertinggi pada air payau konsentrasasi garam 0.3 wt% dengan nilai fluks 3.5 $\text{kg.m}^{-2}.\text{h}^{-1}$ diikuti oleh konsentrasi 1 dan 3.5 wt%, secara berturut-turut. Hasil tersebut sesuai dengan prinsip dasar bahwa pada sampel air dengan konsentrasi garam yang tinggi maka polarisasi konsentrasi pada permukaan membran juga akan lebih besar (Elma *et al.* 2015b; Elma *et al.* 2013a). Potensi terjadinya *pore blocking* juga lebih besar dan nilai fluks yang dihasilkan lebih kecil (Elma *et al.* 2015b). Nilai fluks yang menurun karena adanya

polarisasi konsentrasi selasar dengan tingginya nilai rejeksi garam karena semakin banyak konsentrasi garam yang ditahan. Nilai rejeksi garam yang diperoleh pada kosentrasi garam 1 wt% lebih besar dibandingkan dengan 0.3 wt% meskipun tidak signifikan. Rata-rata rejeksi garam pada semua variasi konsentrasi garam $>99\%$. Hal ini menunjukkan bahwa dengan dipilihnya dual asam-basa katalis pada fabrikasi membran meyebabkan membran yang dihasilkan memiliki pori yang mesopori (Elma, Riskawati, dan Marhamah 2018; Elma *et al.* 2015b; Elma *et al.* 2013a).



Gambar 4. Performansi membran silika-pektin (0.1%) kalsinasi 300°C pada air payau artifisial dan air rawa asin di suhu ruang ($\sim 25^{\circ}\text{C}$)

Pada **Error! Reference source not found.** juga menunjukkan rejeksi garam tertinggi pada sampel air rawa asin, yaitu 100%. Rejeksi garam yang sangat tinggi terjadi karena ukuran diameter kinetik garam (Na^+ 7.2 Å dan Cl^- 6.6 Å) lebih besar dibandingkan ukuran pori membran silika-pektin ~ 2 nm. Namun demikian, performa membran pada ketiga variasi konsentrasi garam menunjukkan hasil yang baik dengan nilai fluks dan rejeksi garam yang tinggi. Hal ini membuktikan bahwa penambahan konsentrasi pektin memberikan pengaruh positif terhadap hasil fluks air terutama saat diaplikasikan pada air payau artifisial dengan konsentrasi garam rendah. Matriks membran yang ditambahkan pektin menjadi lebih kuat karena adanya pembentukan ikatan silika-karbon. Sebelumnya, (Elma, Fitriani, Rakhman, dan Hidayati 2018); Elma *et al.* (2015b) menunjukkan hasil serupa yang menyatakan bahwa penambahan *copolymer* P123 sebagai *carbon templated* dapat meningkatkan kekuatan matriks

dan performa membran. Secara keseluruhan performa membran dikatakan berhasil menyisihkan garam hingga >99%.

4. SIMPULAN

Membran *interlayer-free* silika-pektin berhasil difabrikasi dan diaplikasikan pada proses desalinasi. Performansi membran-silika memiliki kemampuan yang baik dalam aplikasi desalinasi air payau (konsentrasi 0.3 dan 1 wt%) dan air rawa asin, yaitu $3.5 \text{ kg.m}^{-2}.\text{h}^{-1}$, $0.86 \text{ kg.m}^{-2}.\text{h}^{-1}$ dan $0.6 \text{ kg.m}^{-2}.\text{h}^{-1}$, secara berturut-turut dengan rejeki garam >95%.

5. UCAPAN TERIMA KASIH

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

6. DAFTAR PUSTAKA

- Chaudhri SG, Chaudhari JC, Singh PS. 2018. Fabrication of efficient pervaporation desalination membrane by reinforcement of poly(vinyl alcohol)-silica film on porous polysulfone hollow fiber. *Journal of Applied Polymer Science*, 135(3), 45718-n/a. doi: 10.1002/app.45718
- Duke MC, Costa JCD, Lu GQ, Petch M, Gray P. 2004. Carbonised template molecular sieve silica membranes in fuel processing systems: permeation, hydrostability and regeneration. *Journal of Membrane Science* 241(2): 325-333. doi: <https://doi.org/10.1016/j.memsci.2004.06.004>
- Elma M, Assyaifi ZL. 2018. Desalination process via pervaporation of wetland saline water. *Paper presented at the IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*.
- 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(1), 012007. doi: 10.1088/1755-1315/175/1/012007
- Elma M, Riskawati N, Marhamah. 2018. Silica Membranes for wetland saline water desalination: performance and long term stability. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* 175(1), 012006.
- Elma M, Setyawan H. 2018. Synthesis of Silica xerogels obtained in organic catalyst via sol gel route. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* 175(1), 012008.
- Elma M, Wang DK, Yacou C, Costa JCD. 2015a. Interlayer-Free Hybrid organo-silica membranes based teos and tevs for water desalination. *International Conference on Oleo and Petrochemical engineering* 49-57.
- Elma M, Wang DK, Yacou C, Costa JCD. 2015b. Interlayer-Free P123 Carbonised template silica membranes for desalination with reduced salt concentration polarisation. *Journal of Membrane Science* 475: 376-383.
- Elma M, Wang DK, Yacou C, Motuzas J, Costa JCD. 2015c. High performance interlayer-free mesoporous cobalt oxide silica membranes for desalination applications. *Desalination* 365: 308-315. doi: <https://doi.org/10.1016/j.desal.2015.02.034>
- Elma M, Yacou C, Costa JCD, Wang DK. 2013a. Performance and long term stability of mesoporous silica membranes for desalination. *Membranes* 3(3). doi: 10.3390/membranes3030136
- Elma M, Yacou C, Costa JCD, Wang DK. 2013b. Performance and long term stability of mesoporous silica membranes for desalination. *Membranes* 3: 136-150.
- Elma M, Yacou C, Wang DK, Smart S, Costa JCD. 2012. Microporous Silica based membranes for desalination. *Water* 4: 629-649.
- Giosafatto CVL, Di Pierro P, Gunning P, Mackie A, Porta R, Mariniello L. 2014. Characterization of Citrus pectin edible films containing transglutaminase-modified phaseolin. *Carbohydrate Polymers* 106: 200-208. doi: <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2014.02.015>
- Maftoonazad N, Ramaswamy HS, Moalemiyan M, Kushalappa AC. 2007. Effect of pectin-based edible emulsion coating on changes in quality of avocado exposed to *Lasioidiplodia theobromae* infection. *Carbohydrate Polymers* 68(2): 341-349. doi: <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2006.11.020>
- Nešić A, Ružić J, Gordić M, Ostojić S, Micić D, Onjia A. 2017. Pectin-polyvinylpyrrolidone films: A sustainable approach to the development of biobased packaging materials. *Composites Part B: Engineering* 110 (Supplement C): 56-61. doi: <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2016.11.016>
- Pinem JA, Adha MH. 2008. Kinerja membran reverse osmosis terhadap rejeksi kandungan garam air payau sintesis: Pengaruh variasi tekanan umpan. *Seminar Nasional Teknik Kimia Oleo & Petrokimia Indonesia* 7.
- Qian X, Li N, Wang Q, Ji S. (2018). Chitosan/graphene oxide mixed matrix membrane with enhanced water permeability for high-salinity water desalination by pervaporation. *Desalination* 438: 83-96. doi: <https://doi.org/10.1016/j.desal.2018.03.031>
- Wang DK, Chen R, Motuzas J, Smart S, Costa JCD. 2017. Chapter 13 - Rapid Thermal Processing of Microporous Silica Membranes A2 - Basile, Angelo. In: K. Ghasemzadeh (Ed.), *Current Trends and Future Developments on (Bio-) Membranes* (pp. 317-348): Elsevier.

- Wang Q, Li N, Bolto B, Hoang M, Xie Z. (2016). Desalination by pervaporation: A review. *Desalination* 387: 46-60. doi: <https://doi.org/10.1016/j.desal.2016.02.036>
- Wang S, Wang DK, Smart S, Costa JCD. 2017. Improved stability of ethyl silicate interlayer-free membranes by the rapid thermal processing (RTP) for desalination. *Desalination* 402: 25-32. doi: <https://doi.org/10.1016/j.desal.2016.09.025>
- Yang H, Elma M, Wang DK, Motuzas J, Costa JCD. (2017a). Interlayer-free hybrid carbon-silica membranes for processing brackish to brine salt solutions by pervaporation. *Journal of Membrane Science* 523: 197-204. doi: <https://doi.org/10.1016/j.memsci.2016.09.061>
- Yang H, Elma M, Wang DK, Motuzas J, Costa JCD. (2017b). Interlayer-free hybrid carbon-silica membranes for processing brackish to brine salt solutions by pervaporation. *Journal of Membrane Science* 523 (Supplement C): 197-204. doi: <https://doi.org/10.1016/j.memsci.2016.09.061>
- Yang H, Wang DK, Motuzas J, Costa, JCD. (2018). Hybrid vinyl silane and P123 template sol-gel derived carbon silica membrane for desalination. *Journal of Sol-Gel Science and Technology* 85(2): 280-289. doi: 10.1007/s10971-017-4562-1
-