



## Interlayer-free Membran Silika Pektin untuk Pervaporasi Air Rawa Asin

Erdina L. A. Rampun<sup>a,b</sup>, Muthia Elma<sup>a,b,c,\*</sup>, Isna Syauqiah<sup>a</sup>, Meilana Dharma Putra<sup>a</sup>,  
 Aulia Rahma<sup>a,b</sup>, Amalia E. Pratiwi<sup>a,b</sup>

<sup>a</sup> Chemical Engineering Department, Lambung Mangkurat University, Banjarbaru, South Kalimantan, Indonesia

<sup>b</sup> Materials and Membranes Research Group (M<sup>2</sup>ReG), Lambung Mangkurat University, Banjarbaru, South Kalimantan, Indonesia

<sup>c</sup> Wetland Based Materials Research Group, Lambung Mangkurat University, South Kalimantan 70714, Indonesia

\* Corresponding author: telp/: +62 (0511) 4773858, email: [melma@ulm.ac.id](mailto:melma@ulm.ac.id)

<https://doi.org/10.14710/jksa.22.3.99-104>

### Article Info

#### Article history:

Received: 31 March 2019

Revised: 7 May 2019

Accepted: 15 May 2019

Online: 31 May 2019

#### Keywords:

Carbon sustainable template; pervaporation; silica precursor; sol-gel; wetland saline water

### Abstract

**Title: Interlayer-free Silica Pectin Membrane for Wetland Saline Water via Pervaporation**

Wetland in South Kalimantan is one of surface water sources to provide clean water. However, seawater intrusion has spread into the wetland aquifer and reduce the quality of water. Silica-pectin membrane is a promising technology for desalination. The membranes were tested for desalination by pervaporation at room temperature (~25°C). During pervaporation process, the water contacts to membrane and the separation is started to occurs as vapour phase by maintaining vacuum pressure (~1 bar). The permeate was collected in the cold trap after condensed using nitrogen liquid. The purpose of this research was to investigate the performance of interlayer-free silica pectin membrane for wetland saline water. Experimental results shows the fluxes of membrane are 0.35 and 0.19 kg.m<sup>-2</sup> h<sup>-1</sup> (pectin 0%wt); 0.23 and 0.16 kg.m<sup>-2</sup> h<sup>-1</sup> (pectin 0.1%wt); 0.58 and 3.63 kg.m<sup>-2</sup> h<sup>-1</sup> (pectin 0.5%wt); 3.40 and 0.12 kg.m<sup>-2</sup> h<sup>-1</sup> (pectin 2.5%wt) calcined at 300 and 400°C, respectively. Natural organic matter (NOM) and salt concentration in wetland saline water can reduce the fluxes up to (~98%). Nevertheless, overall salt rejection of membranes achieved >99%. It was found that low calcination gives better performance at high pectin concentration. While pectin concentration was limited at high calcination.

### Abstrak

#### Kata Kunci:

Air rawa asin; carbon sustainable template; pervaporasi; prekursor silika; sol-gel

Air rawa di Kalimantan Selatan merupakan air permukaan yang dapat dimanfaatkan sebagai sumber air bersih. Namun, adanya instruksi air laut ke dalam air rawa menyebabkan air menjadi tidak layak digunakan. Salah satu teknologi yang dapat menghilangkan garam tersebut adalah membran silika-pektin. Performa membran *interlayer-free* silika pektin ini diuji dengan proses pervaporasi pada suhu ruang (~25°C). Pada pervaporasi, air uap masuk melalui membran, selanjutnya proses pemisahan akan terjadi dalam bentuk uap dengan bantuan membran pompa vakum. Permeat akan dikumpulkan ke dalam cold trap dengan cara kondensasi menggunakan nitrogen cair. Tujuan penelitian ini adalah menginvestigasi performa membran *interlayer-free* silika pektin menggunakan air rawa asin. Hasil Performa membran yang divariasikan konsentrasi pektin dengan suhu kalsinasi 300 dan 400°C berturut-turut adalah 0,35 dan 0,19 kg.m<sup>-2</sup> h<sup>-1</sup> (tanpa pektin); 0,23 dan 0,16 kg.m<sup>-2</sup> h<sup>-1</sup> (pektin 0,1%wt); 0,58 dan 3,63 kg.m<sup>-2</sup> h<sup>-1</sup> (pektin 0,5%wt); 3,40 dan 0,12 kg.m<sup>-2</sup> h<sup>-1</sup> (pektin 2,5%wt). Namun, bahan organik alami (BOA) dan kandungan garam dalam air rawa asin mengakibatkan penurunan fluks (~98%). Meskipun demikian, rejeksi garam seluruh membran mencapai >99,9%. Penelitian ini menemukan bahwa kalsinasi rendah akan berpengaruh

lebih signifikan bila ditambahkan konsentrasi pektin lebih tinggi. Sebaliknya penambahan konsentrasi pektin menjadi terbatas pada suhu kalsinasi tinggi.

## 1. Pendahuluan

Air rawa merupakan air permukaan yang banyak menggenangi wilayah di Indonesia sekitar 40,5 juta ha [1]. Secara kuantitatif air ini berpotensi untuk dimanfaatkan sebagai sumber air bersih. Instruksi air laut seringkali menjadi permasalahan. Salah satunya ditemui di Desa Muara Halayung, Kalimantan Selatan yaitu ketika air laut memasuki badan air rawa dengan salinitas mendekati air laut sebesar 40.000 ppm (3,5wt%). Desalinasi menggunakan teknologi membran menawarkan pengolahan air untuk menghilangkan kandungan garam air rawa tersebut [2].

Dalam pengaplikasiannya material membran silika memiliki kelebihan yaitu tahan beroperasi pada suhu tinggi dibandingkan membran organik [3]. Penggunaan material membran berbahan silika ini banyak dipakai untuk desalinasi [4, 5, 6]. Akan tetapi pori silika mudah runtuh apabila berkontak dengan air, sehingga perlu adanya modifikasi membran. Hal ini dikarenakan sifat hidrofilik dari silanol yang terkandung di dalam silika [7].

Modifikasi material membran untuk meningkatkan performa dilakukan dengan cara hibrid organik-inorganik [8], penyisipan karbon [4] dan metal [9]. Penelitian Elma *dkk.* [4] menunjukkan kekuatan dari membran karbon-silika. Dengan adanya karbon yang berasal dari *pluronic triblock copolymer poly (ethylene oxide)-poly(propylene oxide)-poly(ethylene oxide)* (P123) yang ditanamkan terbukti dapat mencegah keruntuhan pori pada membran silika. Penelitian tersebut memperlihatkan peningkatan fluks dan rejeksi sekitar 6 kg.m<sup>-2</sup>.h<sup>-1</sup>; rejeksi garam >99% dibandingkan silika murni fluks sebesar 1,7 kg.m<sup>-2</sup>.h<sup>-1</sup>; rejeksi garam ~77% yang diteliti oleh [7]. Selain itu, Wijaya *dkk.* [7] juga meneliti pengaruh penyisipan prekursor karbon seperti *hexyltriethylammonium bromide* (C6), *dodecyltrimethylammonium bromide* (C12) dan *andhexadecyltrimethylammonium bromide* (C16) terhadap fluks membran silika murni. Disisi lain, berbagai bahan metal untuk modifikasi membran juga diinvestigasi seperti nikel [10, 11, 12], cobalt [13, 14], dan besi [15].

Berbagai macam prekursor dipilih untuk meningkatkan performa membran. Namun demikian, semua jenis prekursor kebanyakan memakai bahan material sintetik. Pektin dapat menjadi material karbon alami yang digunakan untuk menggantikan material sintetik tersebut. Pektin yaitu *biodergradable* polisakarida yang banyak terdapat di bagian sel tumbuhan [16]. Sumber pektin dapat diperoleh dari kulit apel [17], kulit pisang [18], kulit nangka [19], dan tomat cherry [20]. Kemampuan pektin yang dapat dengan mudah membentuk gel, bisa dimanfaatkan sebagai material karbon [21]. Material karbon memiliki luas permukaan besar dan telah diaplikasikan dalam pengolahan air serta digunakan sebagai penyimpan energi [22, 23, 24].

Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan guna mengolah air rawa asin menggunakan membran silika

yang telah disisipkan berbagai variasi konsentrasi pektin (0; 0,1; 0,5 dan 2,5%wt) dan variasi kalsinasi (300 dan 400°C). Pektin kulit apel digunakan karena kandungan pektinnya yang tinggi yaitu sekitar 24,5% [17]. Penelitian ini dapat mengurangi pemakaian material sintetik dalam modifikasi membran. Sehingga material yang digunakan menjadi ramah lingkungan dan hemat biaya produksi.

## 2. Metode Penelitian

Alat penelitian yang digunakan antara lain: UV-Vis, *dipcoater*, pH meter, *conductivity meter*, *ice crusher*, botol schott, termometer, pengaduk magnet dan *hot plate*, *furnace*, neraca analitik serta peralatan gelas laboratorium lainnya.

Bahan penelitian digunakan yaitu: *Tetraethyl orthosilicate* (TEOS, 99%, Sigma-Aldrich), pektin dari kulit apel (Sigma-Aldrich), etanol (EtOH, 99%), akuades, asam nitrat (0.0008 M HNO<sub>3</sub>, Merck), amoniak (0,0003 M NH<sub>3</sub>, Merck), gliserol (85%, Merck), *membrane support* (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) (50 mm x 08 mm), air rawa asin sebagai umpan dan nitrogen cair.

### 2.1. Pembuatan Membran Interlayer-free Silika Pektin

Sol-gel disiapkan dengan pencampuran TEOS yang diteteskan ke dalam etanol sambil diaduk selama 5 menit pada suhu 0°C. Selanjutnya katalis asam HNO<sub>3</sub> ditambahkan ke dalam campuran dan diaduk pada kondisi suhu 50°C selama 1 jam. Diikuti penambahan NH<sub>3</sub> dan diaduk lagi selama 2 jam pada kondisi yang sama. Sol silika murni diukur nilai pH 6. Bahan sol silika yaitu TEOS:EtOH: HNO<sub>3</sub>:H<sub>2</sub>O:NH<sub>3</sub> dihitung dengan rasio 1:38:0.0008:5:0.0003.

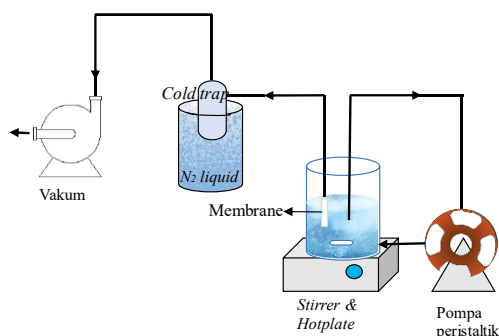
Konsentrasi pektin yang digunakan adalah 0; 0,1; 0,5 dan 2,5%wt. Pektin dilarutkan menggunakan gliserol 5 ml dan diaduk 360 rpm selama 45 menit pada suhu 40°C. Setelah itu larutan gliserol-pektin dicampurkan dengan sol silika murni yang telah dibuat sebelumnya pada suhu 0°C selama 45 menit dengan kecepatan pengadukan 360 rpm.

Proses *dip coating* dilakukan dengan cara mencelupkan membran *support* α alumina ke sol silika-pektin. Laju pencelupan penarikan masing-masing diatur 10 cm per menit dan 5 cm per menit dengan perendaman selama 2 menit. Membran setelah dicelupkan, dikalsinasi pada suhu 300°C dan 400°C selama 1 jam dan didinginkan pada suhu ruang selama 30 menit sebelum selanjutnya dikalsinasi lagi. Proses ini terus diulang sampai didapatkan 4 lapisan.

### 2.2. Performa Membran Interlayer-free Silika Pektin Pada Air Rawa Asin

Air rawa asin diambil pada bulan Agustus di Desa Muara Halayung, Kec. Beruntung Baru, Kab. Banjar Kalimantan Selatan. Sampel air rawa asin awal dikarakterisasi konduktivitas dan UV<sub>254</sub>. Selanjutnya dilakukan tes pervinginasi (Gambar 1) pada membran *interlayer-free* silika pektin yang memiliki variasi

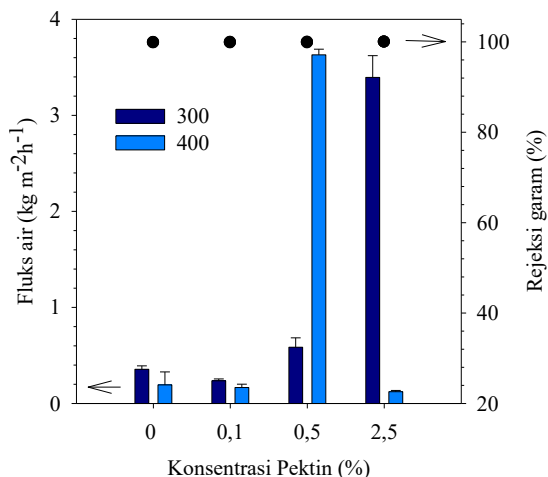
konsentrasi (0; 0,1; 0,5 dan 2,5%wt) dan kalsinasi (300 dan 400°C). Proses pemisahan pada pervaporasi terjadi dalam bentuk uap dengan bantuan pompa vakum (~1 bar). Permeat akan ditampung ke dalam cold trap setelah dikondensasi menggunakan nitrogen cair. Fluks dan rejeksi garam menggunakan umpan air rawa asin diukur guna mengetahui performa membran. Fluks ( $\text{kg m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ ) dihitung mengikuti persamaan  $F=m/(At)$ , dimana massa permeat (kg) dihitung dari berat air yang disimpan didalam cold trap, A adalah area membran ( $1,02 \times 10^{-4} \text{ m}^2$ ) dan t adalah durasi (h). Percobaan dilakukan sebanyak 3 kali perulangan. Waktu operasi yang digunakan adalah 20 menit. Rejeksi garam, R(%) dihitung menggunakan rumus  $R=(C_{feed}-C_p)/C_{feed} \times 100\%$ , dimana  $C_{feed}$  adalah konsentrasi umpan dan  $C_p$  adalah konsentrasi permeat (mg/L).



Gambar 1. Rangkaian Alat Pervaporasi

### 3. Hasil dan Pembahasan

Gambar 2 memperlihatkan performa membran interlayer-free silika pektin dengan variasi suhu kalsinasi (300 dan 400°C) di suhu ruang (25°C) yang diaplikasikan untuk air rawa asin Desa Muara Halayung. Hasil menarik terlihat dari grafik bahwa penambahan pektin mempengaruhi fluks dari membran silika. Fluks air tertinggi berhasil didapatkan sekitar  $3,63 \text{ kg.m}^{-2} \text{ h}^{-1}$  (rejeksi garam >99,9%) dengan penambahan pektin 0,5%wt. Penambahan pektin tersebut berhasil meningkatkan fluks 19 kali lebih tinggi dari membran silika tanpa adanya pektin. Sedangkan pada konsentrasi 0,1%wt pektin tidak terlalu berpengaruh dikarenakan sedikitnya konsentrasi yang diberikan.



Gambar 2 Performa membran interlayer-free silika pektin pada air rawa asin

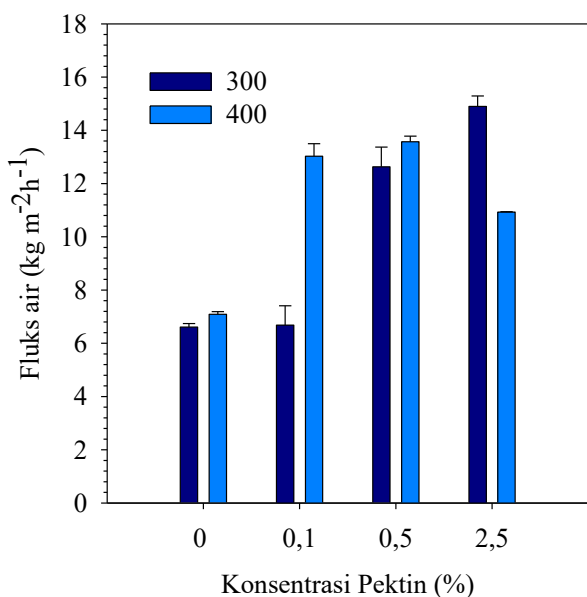
Secara keseluruhan membran berhasil menyisihkan garam >99,9% (Gambar 2). Penelitian menginvestigasi silika template memiliki kemampuan penyisihan garam yang tinggi, akan tetapi fluks yang dihasilkan relatif rendah [25]. Nilai pH 6 sol silika-pektin pada penelitian ini menghasilkan mesopori (2-50 nm) yang disebut "Bottle neck pore". Pada kondisi pH sol tersebut molekul garam dapat tertahan, selain itu molekul air lebih mudah lolos [26, 27]. Hal ini terbukti pH 6 sol silika-pektin menghasilkan fluks dua kali lebih tinggi dibandingkan membran mikropori ( $1,9 \text{ kg.m}^{-2} \text{ jam}^{-1}$ ; >98%) [25] dan membran zeolite tipe FAU ( $0,96 \text{ kg.m}^{-2} \text{ jam}^{-1}$ ; >99,8%) [28]. Dimana pemakaian katalis asam cenderung lebih mudah memproduksi mikropori (< 2 nm) [15]. Sebaliknya katalis basa akan menimbulkan besarnya pori membran, akibatnya adalah rejeksi yang rendah [29]. Penelitian oleh Elma dkk. [26] menemukan kombinasi antara katalis asam dan basa yang ditemukan pada pH 6 menjadi pilihan yang baik dalam hal pembuatan membran mesopori.

Pengaruh lain yang mempengaruhi performa membran ini disamping konsentrasi pektin dan katalis yang digunakan adalah suhu kalsinasi. Jelas terlihat jika pada suhu kalsinasi 400°C memberikan fluks tertinggi yaitu pada pektin 0,5%wt (Gambar 2), berbeda dengan kalsinasi 300°C yang menunjukkan performa lebih optimal ketika konsentrasi pektin 2,5%wt dengan fluks sebesar  $3,4 \text{ kg m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ . Pembentukan siloksane dan rendahnya silanol membuat membran lebih kuat. Akan tetapi perlu diingat bahwa siloksane yang terlalu tinggi juga dapat menyebabkan pori menjadi lebih besar dan berdampak pada rendahnya rejeksi yang dihasilkan. Inilah alasan dari pentingnya mengatur ukuran pori membran yaitu dengan cara mengontrol pH sol. Sehingga dapat disimpulkan, kalsinasi yang rendah akan berpengaruh lebih signifikan bila ditambahkan konsentrasi pektin lebih tinggi.

Suhu kalsinasi tinggi dapat mempercepat reaksi kondensasi dari grup silanol dan berkurangnya permeasi [30]. Bahkan kebanyakan membran silika dengan struktur mikropori dibuat pada suhu kalsinasi >300°C [31]. Terbukti dari fluks yang dihasilkan pada suhu 400°C ini rata-rata relatif lebih rendah kecuali pada pektin 0,5%wt. Penambahan konsentrasi pektin 2,5%wt akan menambah kemungkinan membran yang dikalsinasi tinggi tersebut lebih dense. Hal ini diakibatkan sedikitnya rantai karbon pada pektin. Berbeda dengan penelitian sebelumnya menggunakan P123 yang memiliki rantai karbon lebih panjang [4]. Sehingga, sebaliknya penambahan konsentrasi P123 lebih banyak akan menyebabkan struktur membran menjadi mesopori (2-50 nm). Meskipun reaksi kondensasi dari grup silanol berlangsung lambat pada suhu kalsinasi 300°C dan mengakibatkan struktur silika lebih rapuh. Akan tetapi dengan adanya penambahan pektin lebih tinggi 2,5%wt, fluks yang dihasilkan juga turut meningkat.

Penelitian ini juga menguji fluks dengan umpan akuades (Gambar 3). Uji dilakukan guna mengetahui ada atau tidaknya pengaruh garam dan bahan organik alami (BOA) dalam air rawa asin terhadap fluks yang dihasilkan. BOA dapat diprediksi salah satunya menggunakan parameter  $UV_{254}$  [32]. Nilai  $UV_{254}$  yang terkandung pada

penelitian ini menunjukkan angka sebesar 0,353.  $UV_{254}$  digunakan sebagai parameter yang lebih sensitif merepresentasikan air dengan fraksi hidrofobik lebih besar daripada hidrofilik. Meskipun parameter  $UV_{254}$  juga mendeteksi fraksi hidrofilik [32]. Agar mengetahui fraksi BOA lebih dalam maka diperlukan pengukuran rasio E4/E6 (absorbansi 465 nm dibagi absorbansi 665 nm) [33, 34]. Didapatkan air rawa asin penelitian ini memiliki rasio E4/E6 sebanyak 2,29. Rasio E4/E6 <5 menandakan bahwa air rawa terkandung banyak asam humat [33]. Sedangkan asam humat diketahui turut berperan dalam fouling [35].



Gambar 3. Performa membran *interlayer-free* silika pektin pada akuades

Penelitian menyebutkan BOA sebagai penyebab fouling [36, 37]. Fouling dapat menurunkan fluks membran. Fouling membran merupakan fenomena yang kompleks terutama dalam lingkungan dengan kandungan garam tinggi. Fenomena ini dapat disebabkan dari fouling inorganik (*scaling*), fouling organik (koloid), biofouling ataupun interaksinya [38]. Dari Gambar 3 hal tersebut dapat dibuktikan fluks akuades menjadi menurun drastis sampai ~98%. Hal ini karena adanya kandungan BOA dan garam dalam air rawa asin.

#### 4. Kesimpulan

Membran *interlayer-free* silika pektin ini sangat efektif digunakan untuk pengolahan air rawa asin. Performa membran yang divariasikan konsentrasi pektin dengan suhu kalsinasi 300 dan 400°C berturut-turut adalah 0,35 dan 0,19 kg.m<sup>-2</sup> h<sup>-1</sup> (tanpa pektin); 0,23 dan 0,16 kg.m<sup>-2</sup> h<sup>-1</sup> (pektin 0,1%); 0,58 dan 3,63 kg.m<sup>-2</sup> h<sup>-1</sup> (pektin 0,5%); 3,40 dan 0,12 kg.m<sup>-2</sup> h<sup>-1</sup> (2,5%). Namun, BOA dan kandungan garam dalam air rawa asin mengakibatkan penurunan fluks (~98%). Meskipun demikian, rejeksi garam seluruh membran mencapai >99,9%. Penelitian ini menemukan bahwa kalsinasi rendah akan berpengaruh lebih signifikan bila ditambahkan konsentrasi pektin lebih tinggi. Sebaliknya

penambahan konsentrasi pektin menjadi terbatas pada suhu kalsinasi tinggi.

#### Ucapan Terima Kasih

Penulis berterima kasih kepada hibah penelitian FT-ULM PNBPN tahun 2018 yang telah membiayai dan kepada Laboratorium Teknologi Proses Universitas Lambung Mangkurat yang telah memfasilitasi. Muthia Elma juga berterima kasih pada *Alumni Grants Scheme* periode 2 Tahun 2018-2019, hibah penelitian Pascasarjana-ULM tahun 2018, hibah *Post-Doctoral* 2017-2018, hibah Tesis Magister 2019 dan hibah PTUPT 2019 dari Direktorat Penelitian dan Pengabdian Masyarakat - Kementerian Riset, Teknologi dan Pendidikan Tinggi Indonesia dan Australian Indonesian Project (ANU) Indonesian tahun 2016-2017.

#### Daftar Pustaka

- [1] KLH, Strategi Pengelolaan Lahan Basah Nasional, in, Jakarta, 2004.
- [2] Mahmud, Chairul Abdi, Badaruddin Mu'min, Removal Natural Organic Matter (NOM) in Peat Water From Wetland Area By Coagulation-Ultrafiltration Hybrid Process With Pretreatment Two Stage Coagulation, *Journal of Wetlands Environmental Management*, 1, (2013) 42-49 <http://dx.doi.org/10.20527/jwem.v1i1.88>
- [3] L. C. Klein, D. Gallagher, Pore structures of sol-gel silica membranes, *Journal of Membrane Science*, 39, 3, (1988) 213-220 [https://doi.org/10.1016/S0376-7388\(00\)80930-8](https://doi.org/10.1016/S0376-7388(00)80930-8)
- [4] Muthia Elma, David K. Wang, Christelle Yacou, João C. Diniz da Costa, Interlayer-free P123 carbonised template silica membranes for desalination with reduced salt concentration polarisation, *Journal of Membrane Science*, 475, Supplement C, (2015) 376-383 <https://doi.org/10.1016/j.memsci.2014.10.026>
- [5] Zongli Xie, Manh Hoang, Tuan Duong, Derrick Ng, Buu Dao, Stephen Gray, Sol-gel derived poly(vinyl alcohol)/maleic acid/silica hybrid membrane for desalination by pervaporation, *Journal of Membrane Science*, 383, 1, (2011) 96-103 <https://doi.org/10.1016/j.memsci.2011.08.036>
- [6] Shengnan Wang, David K. Wang, Simon Smart, João C. Diniz da Costa, Improved stability of ethyl silicate interlayer-free membranes by the rapid thermal processing (RTP) for desalination, *Desalination*, 402, (2017) 25-32 <https://doi.org/10.1016/j.desal.2016.09.025>
- [7] S. Wijaya, M. C. Duke, J. C. Diniz da Costa, Carbonised template silica membranes for desalination, *Desalination*, 236, 1, (2009) 291-298 <https://doi.org/10.1016/j.desal.2007.10.079>
- [8] N. Z. K. Shaari, N. A. Rahman, R. M. Tajuddin, Thin film composite membrane with hybrid membrane as the barrier layer: Preparation and characterization, *2012 IEEE Colloquium on Humanities, Science and Engineering (CHUSER)*, (2012) 615-620 10.1109/CHUSER.2012.6504386
- [9] Muthia Elma, David K. Wang, Christelle Yacou, Julius Motuzas, João C. Diniz da Costa, High performance interlayer-free mesoporous cobalt oxide silica membranes for desalination applications,

- Desalination*, 365, (2015) 308–315  
<https://doi.org/10.1016/j.desal.2015.02.034>
- [10] Adi Darmawan, Linda Karlina, Yayuk Astuti, Sriatun, David K. Wang, Julius Motuzas, J. C. Diniz da Costa, Interlayer free – nickel doped silica membranes for desalination, *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 172, (2017) 012001  
<http://doi.org/10.1088/1757-899x/172/1/012001>
- [11] Masakoto Kanezashi, Masashi Asaeda, Hydrogen permeation characteristics and stability of Ni-doped silica membranes in steam at high temperature, *Journal of Membrane Science*, 271, 1, (2006) 86–93  
<https://doi.org/10.1016/j.memsci.2005.07.011>
- [12] Adi Darmawan, Linda Karlina, Yayuk Astuti, Sriatun, Julius Motuzas, David K. Wang, João C. Diniz da Costa, Structural evolution of nickel oxide silica sol-gel for the preparation of interlayer-free membranes, *Journal of Non-Crystalline Solids*, 447, (2016) 9–15  
<https://doi.org/10.1016/j.jnoncrsol.2016.05.031>
- [13] S. Smart, J. F. Vente, J. C. Diniz da Costa, High temperature H<sub>2</sub>/CO<sub>2</sub> separation using cobalt oxide silica membranes, *International Journal of Hydrogen Energy*, 37, 17, (2012) 12700–12707  
<https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2012.06.031>
- [14] Liang Liu, David K. Wang, Dana L. Martens, Simon Smart, João C. Diniz da Costa, Interlayer-free microporous cobalt oxide silica membranes via silica seeding sol-gel technique, *Journal of Membrane Science*, 492, (2015) 1–8  
<https://doi.org/10.1016/j.memsci.2015.05.028>
- [15] Adi Darmawan, Julius Motuzas, Simon Smart, Anne Julbe, João C. Diniz da Costa, Binary iron cobalt oxide silica membrane for gas separation, *Journal of Membrane Science*, 474, (2015) 32–38  
<https://doi.org/10.1016/j.memsci.2014.09.033>
- [16] S. D. Pasini Cabello, N. A. Ochoa, E. A. Takara, S. Mollá, V. Compañ, Influence of Pectin as a green polymer electrolyte on the transport properties of Chitosan-Pectin membranes, *Carbohydrate Polymers*, 157, Supplement C, (2017) 1759–1768  
<https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2016.11.061>
- [17] Túlio Ítalo S. Oliveira, Morsyleide F. Rosa, Fabio Lima Cavalcante, Paulo Henrique F. Pereira, Graham K. Moates, Nikolaus Wellner, Selma E. Mazzetto, Keith W. Waldron, Henriette M. C. Azeredo, Optimization of pectin extraction from banana peels with citric acid by using response surface methodology, *Food Chemistry*, 198, Supplement C, (2016) 113–118  
<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.08.080>
- [18] Isdayanti Mirna, Rasidi M. Irham, Ekstraksi Pektin Dari Kulit Pisang Kepok (Musa Paradisiaca Linn) Sebagai Edible Film dan Coating untuk Meningkatkan Kualitas Simpan Sosis Lambung Mangkurat, Banjarbaru
- [19] Antony Allwyn Sundarraj, Ranganathan Thottiam Vasudevan, Gobikrishnan Sriramulu, Optimized extraction and characterization of pectin from jackfruit (*Artocarpus integer*) wastes using response surface methodology, *International Journal of Biological Macromolecules*, 106, (2018) 698–703  
<https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2017.08.065>
- [20] Wei Zhang, Fan Xie, Xiaohong Lan, Shengxiang Gong, Zhengwu Wang, Characteristics of pectin from black cherry tomato waste modified by dynamic high-pressure microfluidization, *Journal of Food Engineering*, 216, (2018) 90–97  
<https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2017.07.032>
- [21] Robin J White, Vitaly L Budarin, James H Clark, Pectin-Derived Porous Materials, *Chemistry – A European Journal*, 16, 4, (2010) 1326–1335  
<https://doi.org/10.1002/chem.200901879>
- [22] A. G. Pandolfo, A. F. Hollenkamp, Carbon properties and their role in supercapacitors, *Journal of Power Sources*, 157, 1, (2006) 11–27  
<https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2006.02.065>
- [23] M. M. Titirici, M. Antonietti, Chemistry and materials options of sustainable carbon materials made by hydrothermal carbonization, *Chem Soc Rev*, 39, 1, (2010) 103–116  
<https://doi.org/10.1039/b819318p>
- [24] Rasel Das, Md Eaquab Ali, Sharifah Bee Abd Hamid, Seeram Ramakrishna, Zaira Zaman Chowdhury, Carbon nanotube membranes for water purification: A bright future in water desalination, *Desalination*, 336, Supplement C, (2014) 97–109  
<https://doi.org/10.1016/j.desal.2013.12.026>
- [25] M. C. Duke, S. Mee, J. C. Diniz da Costa, Performance of porous inorganic membranes in non-osmotic desalination, *Water Research*, 41, 17, (2007) 3998–4004  
<https://doi.org/10.1016/j.watres.2007.05.028>
- [26] M. Elma, C. Yacou, J. C. Diniz da Costa, D. K. Wang, Performance and long term stability of mesoporous silica membranes for desalination, *Membranes (Basel)*, 3, 3, (2013) 136–150  
<https://doi.org/10.1002/chem.200901879/10.3390/membranes3030136>
- [27] Muthia Elma, Zaini Lambri Assyaifi, Hairullah, Pembuatan silica thin film sebagai pelapis membran dari prekursor TEOS (Tetra Ethyl Orthosilicate), *Quantum Jurnal Inovasi Pendidikan Sains*, 8, 2, (2017) 78–82  
<https://doi.org/10.1002/adfm.200800624>
- [28] Chen Zhou, Junjie Zhou, Aisheng Huang, Seeding-free synthesis of zeolite FAU membrane for seawater desalination by pervaporation, *Microporous and Mesoporous Materials*, 234, (2016) 377–383  
<https://doi.org/10.1016/j.micromeso.2016.07.050>
- [29] Muthia Elma, Christelle Yacou, David K. Wang, Simon Smart, João C. Diniz da Costa, Microporous Silica Based Membranes for Desalination, *Water*, 4, 3, (2012) 629  
<https://doi.org/10.3390/w4030629>
- [30] Renate M. de Vos, Wilhelm F. Maier, Henk Verweij, Hydrophobic silica membranes for gas separation, *Journal of Membrane Science*, 158, 1, (1999) 277–288  
[https://doi.org/10.1016/S0376-7388\(99\)00035-6](https://doi.org/10.1016/S0376-7388(99)00035-6)
- [31] Jinhui Wang, Masakoto Kanezashi, Tomohisa Yoshioka, Toshinori Tsuru, Effect of calcination temperature on the PV dehydration performance of alcohol aqueous solutions through BTESE-derived silica membranes, *Journal of Membrane Science*, 415–416, (2012) 810–815  
<https://doi.org/10.1016/j.memsci.2012.05.073>
- [32] Anu Matilainen, Egil T. Gjessing, Tanja Lahtinen, Leif Hed, Amit Bhatnagar, Mika Sillanpää, An overview of the methods used in the characterisation of natural organic matter (NOM) in relation to drinking water treatment, *Chemosphere*, 83, 11, (2011) 1431–1442  
<https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2011.01.018>
- [33] Armine Avagyan, Benjamin R. K. Runkle, Lars Kutzbach, Application of high-resolution spectral absorbance measurements to determine dissolved

- organic carbon concentration in remote areas, *Journal of Hydrology*, 517, (2014) 435-446  
<https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2014.05.060>
- [34] A. Maartens, P. Swart, E. P. Jacobs, Humic membrane foulants in natural brown water: characterization and removal, *Desalination*, 115, 3, (1998) 215-227  
[https://doi.org/10.1016/S0011-9164\(98\)00041-1](https://doi.org/10.1016/S0011-9164(98)00041-1)
- [35] S. R. Gray, C. B. Ritchie, T. Tran, B. A. Bolto, Effect of NOM characteristics and membrane type on microfiltration performance, *Water Research*, 41, 17, (2007) 3833-3841  
<https://doi.org/10.1016/j.watres.2007.06.020>
- [36] Xiaojun Cui, Kwang-Ho Choo, Natural Organic Matter Removal and Fouling Control in Low-Pressure Membrane Filtration for Water Treatment, *Environmental Engineering Research*, 19, 1, (2014) 1-8  
<https://doi.org/10.4491/eer.2014.19.1.001>
- [37] Hiroshi Yamamura, Kenji Okimoto, Katsuki Kimura, Yoshimasa Watanabe, Hydrophilic fraction of natural organic matter causing irreversible fouling of microfiltration and ultrafiltration membranes, *Water Research*, 54, (2014) 123-136  
<https://doi.org/10.1016/j.watres.2014.01.024>
- [38] Kang Xie, Siqing Xia, Jing Song, Jixiang Li, Liping Qiu, Jiabin Wang, Shoubin Zhang, The Effect of Salinity on Membrane Fouling Characteristics in an Intermittently Aerated Membrane Bioreactor, *Journal of Chemistry*, 2014, (2014) 7  
<https://doi.org/10.1155/2014/765971>