



## Penyisihan Bahan Organik Alami pada Desalinasi Air Rawa Asin Menggunakan Proses Koagulasi-Pervaporasi

Aulia Rahma<sup>a,c</sup>, Muthia Elma<sup>a,c,d\*</sup>, Mahmud<sup>b</sup>, Chairul Irawan<sup>a</sup>, Amalia E. Pratiwi<sup>a,c</sup>, Erdina L. A. Rampun<sup>a,c</sup>

<sup>a</sup> Chemical Engineering Department, Faculty of Engineering, Universitas Lambung Mangkurat Banjarbaru, South Kalimantan, Indonesia

<sup>b</sup> Environmental Engineering Department, Faculty of Engineering, Universitas Lambung Mangkurat Banjarbaru, South Kalimantan, Indonesia

<sup>c</sup> Materials and Membranes Research Group (M2ReG), Lambung Mangkurat University, Jl. A. Yani KM 36, Banjarbaru, South Kalimantan 70714, Indonesia

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

\* Corresponding author: [melma@ulm.ac.id](mailto:melma@ulm.ac.id)

<https://doi.org/10.14710/jksa.22.3.85-92>

### Article Info

#### Article history:

Received: 31 March 2019

Revised: 3 May 2019

Accepted: 16 May 2019

Online: 29 May 2019

#### Keywords:

Coagulation-pervaporation; conductivity; silica-pectin membrane; UV<sub>254</sub>; wetland saline water

### Abstract

**Title: Removal of Natural Organic Matter for Wetland Saline Water Desalination by Coagulation-Pervaporation**

The high number of natural organic matter contain in wetland water may cause its water has brown color and not consumable. In other hand, intrusion of sea water through wetland aquifer create water become saline, notably on hot season. Coagulation is effective method to applied for removing of natural organic matter. However, it could not be used for salinity removal. Hence combination of coagulation and pervaporation process is attractive method to removing both of natural organic matter and conductivity of wetland saline water. The objective of this works is to investigate optimum coagulant doses for removing organic matter by coagulation process as pretreatment and to analysis performance of coagulation-pervaporation silica-pectin membrane for removing of organic matter and conductivity of wetland saline water. Coagulation process in this work carried out under varied aluminum sulfate dose 10–60 mg L<sup>-1</sup>. Silica-pectin membrane was used for pervaporation process at feed temperature ~25°C (room temperature). Optimum condition of pretreatment coagulation set as alum dose at 30 mg L<sup>-1</sup> with maximum removal efficiency 81,8% (UV<sub>254</sub>) and 40% (conductivity). In other hand, combining of coagulation-pervaporation silica-pectin membrane shows both of UV<sub>254</sub> and salt rejection extremely good instead without pretreatment coagulation of 86,8% and 99,9% for UV<sub>254</sub> and salt rejection respectively. Moreover, water flux of silica-pectin membrane pervaporation with coagulation pretreatment shown higher 17,7% over water flux of wetland saline water without pretreatment coagulation. Combining of coagulation and pervaporation silica-pectin membrane is effective to removing both of organic matter and salinity of wetland saline water at room temperature.

### Abstrak

#### Kata Kunci:

air rawa asin; koagulasi-pervaporasi; konduktivitas; membran silika-pektin; UV<sub>254</sub>

Kandungan bahan organik alami dalam air yang tinggi menyebabkan air rawa berwarna coklat dan tidak layak untuk digunakan. Selain itu, intrusi air laut yang terjadi saat pasang maksimum ke dalam aquifer rawa menyebabkan air rawa menjadi asin yang disebut sebagai air rawa asin. Koagulasi merupakan salah satu metode yang efektif

digunakan untuk menyisihkan kandungan bahan organik. Namun, metode tersebut tidak mampu menyisihkan salinitas pada air rawa asin. Oleh karena itu, kombinasi proses koagulasi dan pervaporasi merupakan metode yang menjanjikan untuk digunakan dalam mereduksi baik parameter bahan organik ( $UV_{254}$ ) maupun salinitas (konduktivitas) pada air rawa asin. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menginvestigasi dosis optimum koagulan untuk menyisihkan  $UV_{254}$  pada proses koagulasi sebagai pra-perlakuan pervaporasi dan untuk menganalisis performa koagulasi-pervaporasi membran silika-pektin untuk mereduksi bahan organik dan salinitas air rawa asin. Koagulan yang digunakan pada proses koagulasi ini adalah aluminium sulfat dengan variasi dosis 10–60  $mg\ L^{-1}$ . Proses pervaporasi menggunakan membran yang terbuat dari silika-pektin pada suhu umpan operasi  $\sim 25^{\circ}C$  (suhu ruang). Kondisi optimum pra-perlakuan koagulasi didapatkan pada dosis alum 30  $mg\ L^{-1}$  dengan efisiensi penyisihan tertinggi sebesar 81,8% ( $UV_{254}$ ) dan 5,4% (konduktivitas). Kombinasi koagulasi-pervaporasi membran silika-pektin menunjukkan nilai rejeksi yang sangat tinggi yaitu 99,9% (NaCl) dan 88,8% ( $UV_{254}$ ). Selain itu pervaporasi membran silika-pektin menghasilkan *water flux* 17,7% lebih tinggi daripada *water flux* umpan air rawa asin tanpa pra-perlakuan koagulasi yaitu 5,4  $kg.m^{-2}.h^{-1}$ . Kombinasi proses koagulasi dan pervaporasi membran silika-pektin dalam penelitian ini efektif untuk menyisihkan parameter  $UV_{254}$  dan NaCl air rawa asin hanya dengan operasi pada suhu ruang.

## 1. Pendahuluan

Kelangkaan air bersih merupakan permasalahan yang sering dihadapi terutama di daerah daratan rendah seperti Kalimantan Selatan, Indonesia. Umumnya masyarakat menggunakan air rawa untuk memenuhi kebutuhan air sehari-hari. Air rawa di Desa Muara Halayung selalu tergenang sepanjang tahun dan sangat dipengaruhi oleh pasang surut air. Secara kualitas, air rawa tidak layak untuk digunakan karena memiliki pH relatif rendah 3–5, berwarna coklat dan memiliki kandungan bahan organik yang tinggi 38–280  $mg\ L^{-1}$   $KMnO_4$  [1]. Air yang mengandung bahan organik tidak baik untuk dikonsumsi karena bersifat karsinogen apabila bereaksi dengan klorin [2, 3]. Selain itu, permasalahan lain yang terjadi pada lahan rawa adalah intrusi air laut secara musiman. Saat pasang maksimum, air laut masuk ke badan perairan rawa [4]. Kemudian air terevaporasi saat musim kemarau dan menyebabkan konsentrasi garam tertinggal sehingga air rawa menjadi asin [5]. Konduktivitas merupakan parameter yang mengindikasikan tingkat salinitas dalam air [6]. Permasalahan tersebut dapat diatasi dengan aplikasi kombinasi proses pra-perlakuan koagulasi dan pervaporasi.

Koagulasi dapat digunakan untuk menyisihkan bahan organik dalam air [7, 8, 9]. Proses koagulasi sangat efektif untuk meningkatkan penyisihan bahan organik pada kondisi optimum [10]. Aluminium sulfat ( $Al_2(SO_4)_3$ ) merupakan koagulan inorganik yang banyak digunakan secara luas karena murah dan mudah diaplikasikan [11]. Zhao *dkk.* [12] melaporkan koagulan  $Al_2(SO_4)_3$  mampu menyisihkan bahan organik  $UV_{254}$  sebesar 91,3% [13]. Kombinasi proses pra-perlakuan koagulasi dengan membran dapat mereduksi bahan organik dan kadar garam pada air permukaan [14, 15]. Selain itu pra-perlakuan koagulasi mampu meningkatkan performa membrane [14, 16].

Membran umum digunakan untuk proses desalinasi dalam mengolah air asin [14]. Pervaporasi adalah teknologi desalinasi yang menjanjikan untuk

memproduksi air bersih dengan konsumsi energi yang relatif rendah dibandingkan membran RO (*reverse osmosis*) [17], dapat dioperasikan pada suhu tinggi dan menghasilkan *flux* relatif tinggi [18, 19]. Proses pervaporasi umumnya menggunakan membran anorganik berbahan silika [20, 21] karena kelebihanannya yang stabil pada suhu tinggi, kuat dan menawarkan *molecular sieving* yang lebih tinggi dibandingkan membran *zeolite* dan organik [22]. Namun, membran silika juga memiliki kelemahan yaitu hidrostabilitasnya yang rendah. [23].

Hidro-stabilitas membran silika dapat diatasi dengan menyisipkan atau *templating* karbon ke dalam matriks silika [24]. Penambahan karbon mampu memperkuat struktur membran silika dengan cara mengganti ikatan hidrogen yang lemah dengan ikatan karbon yang lebih kuat [25], sehingga hidro-stabilitas membran silika dapat ditingkatkan. Pektin merupakan senyawa polisakarida yang mengandung karbon [26]. Pektin digunakan sebagai prekursor karbon alami terbarukan yang murah dan mudah didapatkan dari kulit buah dan limbah industri [27]. Selain itu pektin juga menyediakan *surface area* dan distribusi pori yang besar [28]. Oleh karena itu membran silika-pektin berpotensi digunakan pada proses pervaporasi. Pada penelitian ini, akan dilakukan studi menginvestigasi dosis optimum koagulan pada proses pra-perlakuan koagulasi dan menganalisis performa koagulasi-pervaporasi membran silika-pektin untuk menyisihkan bahan organik dan konsentrasi garam pada air rawa asin.

## 2. Material dan Metode Penelitian

### 2.1. Material Penelitian

Sampel air rawa asin yang digunakan pada penelitian ini diambil di Desa Muara Halayung, Kabupaten Banjar, Kalimantan Selatan, Indonesia yang biasa digunakan masyarakat untuk memenuhi keperluan air sehari-hari. Air rawa diambil saat musim kemarau pada bulan Agustus

2018 dengan konsentrasi NaCl ~3,2% atau 46.000 ppm. Bahan yang digunakan pada penelitian ini terdiri dari aluminium sulfat ( $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$  p.a.), NaOH p.a. 0,01 M, *tetraethyl ortho silicate* (TEOS p.a. 99%), pektin dari kulit apel p.a. (0,5% b/v), etanol (EtOH p.a. 99%), gliserol p.a dan larutan asam nitrat (0,0008 M  $\text{HNO}_3$  p.a.) dan ammonia (0,0003 M  $\text{NH}_3$  p.a.). *Macroporous alumina substrates  $\alpha$ - $\text{Al}_2\text{O}_3$  tubular support* (Ceramic Oxide Fabricators, Australia) dengan rata-rata ukuran pori 100 nm.

## 2.2. Pembuatan membran silika-pektin

Membran silika-pektin pada penelitian ini terbagi menjadi 3 tahapan, yaitu: (1) sintesis sol silika dengan metode sol gel dan tahapan prosedur penelitian secara detail dijelaskan pada penelitian sebelumnya oleh Elma dkk. [29]; (2) Penambahan pektin ke dalam sol silika yang sebelumnya telah dilarutkan dalam gliserol. Hasil akhir molar rasio sol silika-pektin yang didapatkan adalah TEOS:EtOH:HNO<sub>3</sub>:H<sub>2</sub>O:NH<sub>3</sub>:Pektin dengan hitungan menjadi 1:38:0,0008:5:0,0003:0,0018. (3) *Dipcoating* membran silika-pektin. Fabrikasi membran silika-pektin di preparasi dengan cara mencelup membran *support* (*macroporous alumina*) ke dalam sol silika-pektin sebanyak 4 kali untuk mendapatkan 4 layer. Masing-masing layer di kalsinasi dengan *furnace* pada suhu 400°C via metode RTP (*rapid thermal processing*). Morfologi membran silika-pektin dianalisis *scanning electron microscopy* menggunakan Zeiss EVO LS15.

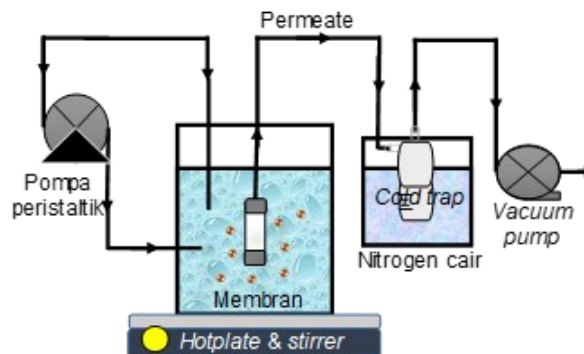
## 2.3. Penentuan dosis optimum proses pra-perlakuan koagulasi

Percobaan koagulasi dilakukan pada sampel air rawa asin dengan variasi dosis koagulan  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$  (10–60 mg L<sup>-1</sup>). Percobaan *jar test* dilakukan menggunakan alat flokulator (*Mascotte F-6*, Indonesia). Proses koagulasi pada penelitian ini merujuk pada Zhao dkk. [13]. Pengadukan cepat dilakukan selama 1 menit dengan kecepatan 200 rpm yang dilanjutkan dengan pengadukan lambat 40 rpm selama 15 menit dan disedimentasi selama 20 menit. *Supernatant* air hasil koagulasi diukur konduktivitas dan kandungan organik UV<sub>254</sub> menggunakan *conductivity meter* (OHAUS Starter 300C) dan UV-1600 *Spectrophotometer* pada masing-masing parameter. Percobaan dilakukan sebanyak 3 kali atau triplo.

## 2.4. Performa kombinasi proses koagulasi-pervaporasi membran silika-pektin

Performa kombinasi proses koagulasi-pervaporasi membran silika-pektin ditentukan dengan melewati variasi jenis *feed* melalui membran silika-pektin pada suhu ruang 25°C. *Feed* yang digunakan pada percobaan ini adalah air rawa asin tanpa pra-perlakuan koagulasi dan air hasil pra-perlakuan koagulasi pada kondisi optimum koagulasi dengan dosis alum 30 mg L<sup>-1</sup>. Rangkaian alat pervaporasi ditunjukkan pada Gambar 1. *Water flux F* (kg.m<sup>-2</sup>.h<sup>-1</sup>) dihitung berdasarkan persamaan  $F=m/(A\Delta t)$ , dimana *m* adalah massa *permeate* (kg) yang terkumpul dalam *cold trap*, *A* adalah luas permukaan membran (m<sup>2</sup>) dan  $\Delta t$  merupakan waktu operasi (h). Rejeksi garam *R* (%) dan penyisihan UV<sub>254</sub> dihitung dari persamaan  $R=(C_f-C_p)/C_f \times 100\%$ , dimana *C<sub>f</sub>* dan *C<sub>p</sub>* merupakan konsentrasi

*feed*/umpan dan *permeate* (% berat). Konsentrasi garam dihitung berdasarkan korelasi antara nilai konduktivitas dengan kadar NaCl dari larutan standar. Konduktivitas diukur menggunakan *conductivity meter* (OHAUS Starter 300C) dan bahan organik UV<sub>254</sub> *absorbance* diuji menggunakan UV-1600 *Spectrophotometer*. Percobaan dilakukan sebanyak 3 kali atau triplo.



Gambar 1. Rangkaian alat pervaporasi untuk proses desalinasi air rawa asin

## 3. Hasil dan Pembahasan

### 3.1. Karakteristik air rawa asin

Karakteristik air rawa asin yang diambil dari Desa Muara Halayung, Kabupaten Banjar, Kalimantan Selatan ini dapat dilihat pada Tabel 1. Air rawa di Desa Muara Halayung dipengaruhi secara langsung oleh pasang surut. Secara visual air rawa asin yang diteliti sangat keruh seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2. Kekeuhan tersebut dipengaruhi oleh endapan lumpur yang ada di dasar rawa tersebut. Kandungan bahan organik dalam air rawa diukur melalui parameter UV<sub>254</sub> yang merepresentasikan bahan organik dominan senyawa aromatik. Kandungan UV<sub>254</sub> dalam air rawa asin yang diteliti adalah 0,460 cm<sup>-1</sup> (Tabel 4.1).



Gambar 2. Air sampel rawa asin yang diambil dari Desa Muara Halayung, Kalsel

Parameter konduktivitas dan TDS mengindikasikan tingkat salinitas [6]. Pada Tabel 1 diketahui nilai konduktivitas air rawa asin sebesar 173.200  $\mu\text{S.cm}^{-1}$  relatif tinggi setara dengan konsentrasi garam 46.000 ppm. Berdasarkan Tabel 1 disimpulkan bahwa karakteristik air rawa asin yang digunakan pada penelitian ini dengan parameter pH, TDS, konduktivitas, bahan organik dan konsentrasi garam belum memenuhi standar baku mutu

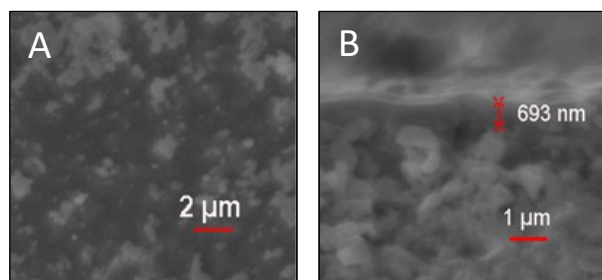
merujuk Permenkes No. 32 tahun 2017 tentang persyaratan baku mutu air bersih.

**Tabel 1.** Karakteristik air rawa asin dengan standar baku mutu air berdasarkan peraturan Menteri kesehatan No. 32 tahun 2017

Parameter	Satuan	Hasil	Baku mutu
pH	-	5,7-5,8	6,5-8,5
TDS	mg L <sup>-1</sup>	75.800	1.000
Konduktivitas	µS.cm <sup>-1</sup>	173.200	-
UV <sub>254</sub>	cm <sup>-1</sup>	0,460	-
NaCl	ppm	46.000	250

### 3.2. Morfologi membran silika-pektin

Struktur morfologi membran silika-pektin melalui hasil analisis SEM (*scanning electron microscopy*) ditunjukkan pada Gambar 3. Permukaan membran silika-pektin yang dihasilkan terlihat asimetris dan tidak rata. Hal tersebut disebabkan akibat perbedaan pori antara lapisan atas membran silika-pektin terhadap pori membran support yang lebih besar. Hasil ini sama dengan membran yang dilaporkan oleh Elma *dkk.* [30] dan Elma *dkk.* [31] yang menggunakan membran berbahan silika. Ketebalan membran silika pektin pada penelitian ini



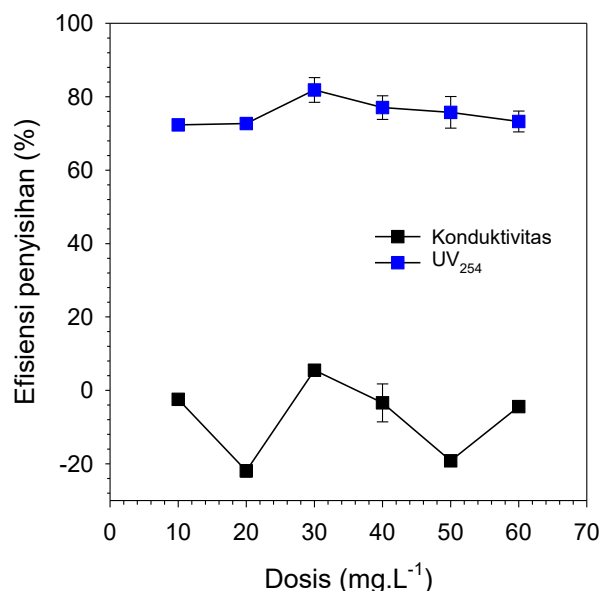
**Gambar 3.** Foto SEM membran silika-pektin (A) tampak permukaan dengan perbesaran 2.000X dan (B) tampak *cross section* dengan perbesaran 5.000X

Ketebalan membran silika-pektin sangat bergantung dari teknik kalsinasi. Gambar 3. B menunjukkan ketebalan *layer* silika-pektin yang didapatkan pada penelitian ini yaitu 693 nm pada suhu kalsinasi 400°C. Teknik kalsinasi merupakan faktor yang menentukan ketebalan membran. Penelitian Elma *dkk.* [31] melaporkan membran silika yang dikalsinasi dengan teknik CTP (*conventional thermal processing*) cenderung lebih tipis dibandingkan dengan teknik RTP. Namun demikian, teknik RTP lebih unggul karena dapat mempersingkat waktu pembuatan suatu membran, yakni hanya memerlukan waktu kurang dari 1 hari untuk mendapatkan 4 *layer*.

### 3.3. Penentuan dosis optimum pra-perlakuan koagulasi

Dosis koagulan merupakan salah satu faktor penting yang menjadi pertimbangan dalam menentukan kondisi optimum proses koagulasi. Penambahan dosis koagulan berpengaruh terhadap tingkat penyisihan bahan organik pada air rawa asin. Hasil efisiensi penyisihan UV<sub>254</sub> pada

penentuan dosis optimum proses koagulasi ditunjukkan pada Gambar 4. *Trend* yang terjadi adalah semakin besar penambahan koagulan, maka tingkat penyisihan UV<sub>254</sub> juga semakin tinggi. Namun saat penambahan koagulan >30 mg L<sup>-1</sup> efisiensi penyisihan UV<sub>254</sub> mengalami penurunan sampai 8% pada dosis 60 mg L<sup>-1</sup>. Hal ini terjadi akibat penambahan dosis koagulan dalam jumlah besar dapat mengakibatkan menurunnya performa flokulasi. Partikel dalam air mengalami restabilisasi muatan sehingga flok menjadi tidak stabil sehingga efisiensi penyisihan akan berkurang [32].



**Gambar 4.** Pengaruh dosis Al<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub> terhadap efisiensi penyisihan konduktivitas dan UV<sub>254</sub> pada proses pra-perlakuan koagulasi dengan nilai 151.900 µS.cm<sup>-1</sup> (konduktivitas), dan 0,46 cm<sup>-1</sup> (UV<sub>254</sub>)

Berdasarkan Gambar 4 diketahui persentase penyisihan UV<sub>254</sub> tertinggi pada dosis 30 mg L<sup>-1</sup> adalah sebesar 81,8%. Tingkat penyisihan UV<sub>254</sub> pada penelitian ini relatif lebih kecil dibandingkan hasil yang dilaporkan Zhao *dkk.* [9] yaitu 91%. Penyisihan UV<sub>254</sub> pada penelitian ini menjadi lebih kecil karena pH air rawa asin yang diteliti cenderung rendah yaitu 5,8. pH memiliki peranan penting dalam proses koagulasi. Umumnya koagulan Al<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub> memiliki *range* pH 6-7 [33].

Parameter konduktivitas digunakan untuk merepresentasikan konsentrasi garam air rawa asin dalam proses pra-perlakuan koagulasi, dan efisiensi hasil penyisihan konduktivitas disajikan pada Gambar 4. Proses koagulasi tidak mampu menurunkan nilai konduktivitas air rawa asin. Berdasarkan literatur, penambahan koagulan aluminium sulfat ke dalam air akan mengalami hidrolisis dan mengadsorb partikel dengan muatan negatif untuk mengubahnya menjadi netral [32]. Penambahan koagulan akan meningkatkan jumlah ion dalam suatu larutan. Jumlah ion yang besar tersebut berpengaruh terhadap besarnya nilai konduktivitas air. Gambar 4 menunjukkan nilai konduktivitas semakin meningkat seiring dengan penambahan dosis koagulan. Pada penambahan dosis 30 mg L<sup>-1</sup> nilai konduktivitas dapat menurun sebesar 5%

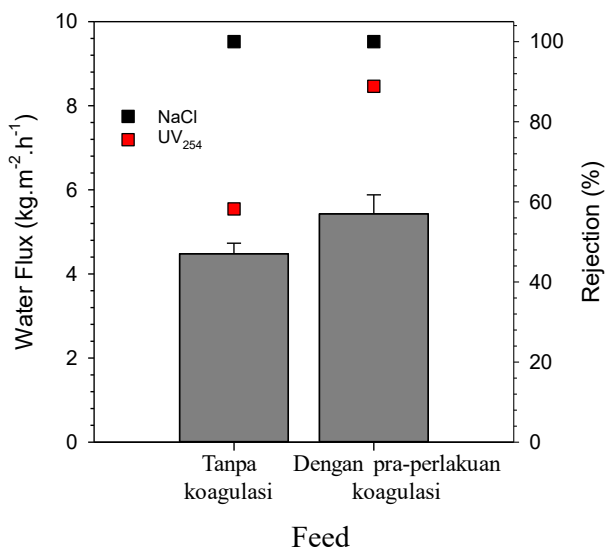


dengan konsentrasi garam ~3% NaCl. Nilai tersebut masih sangat tinggi mendekati konsentrasi air laut.

Berdasarkan hasil tersebut maka dapat disimpulkan bahwa proses koagulasi dengan koagulan  $Al_2(SO_4)_3$  hanya efektif dalam menyisihkan  $UV_{254}$ , sedangkan konsentrasi garam tidak bias direduksi. Hal ini juga didukung dari hasil penelitian sebelumnya bahwa koagulasi sangat baik dalam mereduksi bahan organik terutama senyawa aromatik hidrofobik seperti  $UV_{254}$  [9, 13, 34].

### 3.4. Performa kombinasi proses koagulasi-pervaporasi membran silika-pektin

Kombinasi proses koagulasi-pervaporasi untuk desalinasi air rawa asin dilakukan pada suhu ruang (~25°C) seperti yang ditunjukkan pada Gambar 5. Pengukuran *water flux*, *salt rejection* dan penyisihan bahan organik ( $UV_{254}$ ) telah dilakukan pada *feed* rawa asin baik tanpa pra-perlakuan maupun dengan pra-perlakuan koagulasi. Hasil menunjukkan bahwa *water flux* air rawa asin dengan pra-perlakuan koagulasi pada dosis optimum 30 mg L<sup>-1</sup> memiliki nilai yang lebih tinggi dibandingkan pada *feed* tanpa pra-perlakuan 5,4 kg m<sup>-2</sup> h<sup>-1</sup>. Hal tersebut terjadi karena perbedaan konsentrasi kontaminan pada masing-masing *feed* tersebut. Air rawa asin yang telah melewati proses koagulasi memiliki konsentrasi bahan organik yang lebih sedikit seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4. Keberadaan bahan organik yang tinggi pada air berkontribusi dalam penyebab fouling organik pada membran [35]. *Fouling* dapat menurunkan nilai *water flux*.



**Gambar 5.** Performa proses koagulasi-pervaporasi membran silika-pektin melalui pengukuran nilai *water flux* dan *salt rejection* pada suhu 25°C.

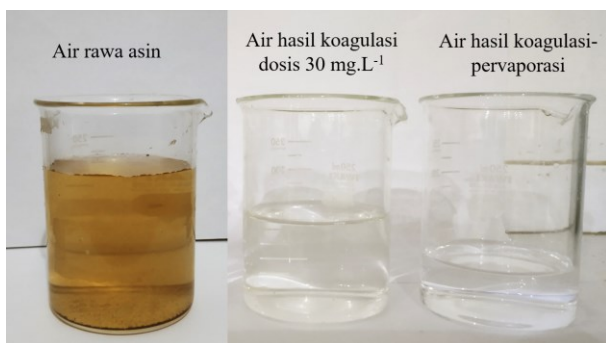
Berdasarkan Gambar 5 diketahui penyisihan  $UV_{254}$  pada air rawa asin tanpa pra-perlakuan relatif rendah yakni 58,2. Sedangkan penyisihan  $UV_{254}$  pada air rawa asin setelah koagulasi adalah 88,8%. Kecilnya rejeksi  $UV_{254}$  untuk desalinasi air rawa asin ini diakibatkan oleh *fouling* membran, seperti yang telah dijelaskan sebelumnya. *Fouling* organik pada membran silika-pektin menyebabkan rejeksi menurun [35]. Selain itu,

proses pra-perlakuan koagulasi telah berhasil menurunkan kandungan bahan organik yang relatif tinggi. Namun demikian, hal menarik lain terjadi pada hasil rejeksi garam dari membran silika pektin pada penelitian ini. Berdasarkan Gambar 5, diketahui rejeksi garam pada kedua *feed* memiliki nilai yang sangat tinggi yaitu 99,9%. Hasil rejeksi garam tersebut berbanding terbalik dengan rejeksi  $UV_{254}$  yang rendah khususnya pada *feed* tanpa pra-perlakuan. Hasil ini membuktikan bahwa membran silika-pektin sangat efektif dalam menyisihkan konsentrasi garam pada air rawa.

**Tabel 2.** Performa berbagai jenis membran untuk desalinasi air rawa asin

Jenis membran	Teknik kalsinasi	Suhu <i>feed</i> (°C)	Jenis <i>feed</i>	Fluks permeate (kg.m <sup>-2</sup> .h <sup>-1</sup> )	Rejeksi garam (%)	Referensi
Silika-pektin	RTP	25°C	Air rawa asin	4,48	99,9	Hasil penelitian
Koagulasi-(silika-pektin)	RTP	25°C	Air rawa asin	5,4	99,9	Hasil penelitian
Silika-P123	RTP	25°C	Air rawa asin	1,25-1,67	66-96	[36]
Pure silika	RTP	25-60°C	Air rawa asin	0,84-1,19	70-85	[30]

Tabel 2 menyajikan performa berbagai jenis membran untuk desalinasi air rawa asin. Performa membran silika-pektin pada penelitian ini menunjukkan hasil yang sangat bagus baik berdasarkan nilai fluks maupun rejeksi garamnya. Membran silika-pektin memberikan nilai fluks permeate yang lebih tinggi ~60% dibandingkan membran silika-P123. Hal tersebut mungkin terjadi karena material *triblock copolymer* memberikan ikatan rantai karbon yang lebih Panjang dibandingkan pektin, sehingga matriks silika yang terbentuk cenderung memiliki pori yang lebih kecil. Selain itu membran silika-pektin menawarkan rejeksi garam >99% dan unggul dibandingkan dengan jenis membran lainnya (Tabel 2). Komparasi air rawa asin hasil pra-perlakuan koagulasi dan kombinasi proses koagulasi-pervaporasi dapat dilihat pada Gambar 6.



**Gambar 6.** Foto hasil air rawa asin sebelum diolah, sesudah pra-perlakuan koagulasi dan sesudah kombinasi proses koagulasi-pervaporasi

#### 4. Kesimpulan

Penelitian ini menunjukkan air baku rawa asin yang didapatkan memiliki karakteristik yang buruk dengan nilai pH rendah, TDS, bahan organik ( $UV_{254}$ ) dan konduktivitas tinggi. Pra-perlakuan koagulasi hanya efektif menyisihkan  $UV_{254}$  81,3% pada dosis alum 30 mg  $L^{-1}$ , sedangkan konduktivitas air rawa tidak dapat disisihkan. Telah terbukti kombinasi proses koagulasi dan pervaporasi membran silika-pektin efektif untuk desalinasi air rawa asin khususnya mereduksi garam dan bahan organik ( $UV_{254}$ ) dengan nilai *water flux* 5,4  $kg \cdot m^{-2} \cdot h^{-1}$  dengan menurunkan 99% (*salt rejection*) dan 88,3% ( $UV_{254}$ ). Kombinasi proses koagulasi-pervaporasi membran silika-pektin cukup menjanjikan untuk dikembangkan untuk menyisihkan kandungan organik dan konsentrasi garam pada air rawa asin mengingat nilai kedua parameter tersebut telah memenuhi baku mutu sebagai air bersih berdasarkan permenkes No. 32 tahun 2017.

#### Acknowledgement

The authors acknowledge to the financial support research grant of Postgraduates Studies (PNBP 2018) and the facilities of Process Technology Laboratory, Engineering Faculty, Lambung Mangkurat University. Muthia Elma thanks to Alumni Grants Scheme Batch 2 in 2018–2019. Applied Research Universities Grant 2018–2019, Thesis Magister 2018 and Post-Doctoral Grant 2017–2018, Directorate of Research and Community Service, the Ministry of Research, Technology and Higher Education Republic of Indonesia. and Australian Indonesian Project (ANU) Indonesian Project and SMERU Research Institute Research Grants 2016–2017.

#### References

- [1] Nadia Eka Pratiwi, Husaini, Eko Suhartono, Filtrasi Campuran Pasir dan Ampas Tahu Kering Sebagai Adsorben Logam Besi dan Mangan pada Air Gambut, *Jurnal Berkala Kesehatan*, Vol. 2, No 1, (2016) 88–97
- [2] Congcong Tang, Zhangwei He, Fangbo Zhao, Xiaoyang Liang, Zhanshuang Li, Effects of cations on the formation of ultrafiltration membrane fouling layers when filtering fulvic acid, *Desalination*, 352, (2014) 174–180 <https://doi.org/10.1016/j.desal.2014.08.020>
- [3] A. W. Zularisam, A. F. Ismail, M. R. Salim, Mimi Sakinah, T. Matsuura, Application of coagulation–ultrafiltration hybrid process for drinking water treatment: Optimization of operating conditions using experimental design, *Separation and Purification Technology*, 65, 2, (2009) 193–210 <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2008.10.018>
- [4] T. Notohardiprawiro, Tanah Estuarin, Watak, Sifat, Kelakuan dan Kesuburannya, Departemen Ilmu Tanah Fakultas Pertanian UGM, Yogyakarta, 1986.
- [5] Zuraida Titin Mariana, Muhammad Mahbub, Hidrologi Lahan Pasang Surut di Kalimantan Selatan untuk Mendukung Pertanian: Perubahan Kualitas Air (Kemasaman dan Daya Hantar Listrik), *Prosiding Seminar Nasional "Strategi Pemanfaatan Lahan Rawa dalam mendukung Kedaulatan Pangan Nasional"*, (2015)
- [6] Dongmei Han, Claus Kohfahl, Xianfang Song, Guoqiang Xiao, Jilong Yang, Geochemical and isotopic evidence for palaeo-seawater intrusion into the south coast aquifer of Laizhou Bay China, *Applied Geochemistry*, 26, 5, (2011) 863–883 <https://doi.org/10.1016/j.apgeochem.2011.02.007>
- [7] Martin Pivokonsky, Jana Naceradska, Tomas Brabenec, Katerina Novotna, Magdalena Baresova, Vaclav Janda, The impact of interactions between algal organic matter and humic substances on coagulation, *Water Research*, 84, (2015) 278–285 <https://doi.org/10.1016/j.watres.2015.07.047>
- [8] Peter Jarvis, Emma Sharp, Marc Pidou, Roger Molinder, Simon A. Parsons, Bruce Jefferson, Comparison of coagulation performance and floc properties using a novel zirconium coagulant against traditional ferric and alum coagulants, *Water Research*, 46, 13, (2012) 4179–4187 <https://doi.org/10.1016/j.watres.2012.04.043>
- [9] Y. X. Zhao, B. Y. Gao, G. Z. Zhang, Q. B. Qi, Y. Wang, S. Phuntsho, J. H. Kim, H. K. Shon, Q. Y. Yue, Q. Li, Coagulation and sludge recovery using titanium tetrachloride as coagulant for real water treatment: A comparison against traditional aluminum and iron salts, *Separation and Purification Technology*, 130, (2014) 19–27 <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2014.04.015>
- [10] Chris Chow, Mary Drikas, Rolando Fabris, Stephen Gray, Uwe Kaeding, John van Leeuwen, Gayle Newcombe, Fiona Wellby, CRC for Water Quality and Treatment, Salisbury South Australia, 2005.
- [11] Meenakshi, R. C. Maheshwari, Fluoride in drinking water and its removal, *Journal of Hazardous Materials*, 137, 1, (2006) 456–463 <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2006.02.024>
- [12] Y. X. Zhao, B. Y. Gao, H. K. Shon, J. H. Kim, Q. Y. Yue, Y. Wang, Floc characteristics of titanium tetrachloride ( $TiCl_4$ ) compared with aluminum and iron salts in humic acid–kaolin synthetic water treatment, *Separation and Purification Technology*, 81, 3, (2011) 332–338 <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2011.07.041>

- [13] Y. X. Zhao, B. Y. Gao, H. K. Shon, B. C. Cao, J. H. Kim, Coagulation characteristics of titanium (Ti) salt coagulant compared with aluminum (Al) and iron (Fe) salts, *Journal of Hazardous Materials*, 185, 2, (2011) 1536–1542 <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2010.10.084>
- [14] Y. X. Zhao, S. Phuntsho, B. Y. Gao, Y. Z. Yang, J. H. Kim, H. K. Shon, Comparison of a novel polytitanium chloride coagulant with polyaluminium chloride: Coagulation performance and floc characteristics, *Journal of Environmental Management*, 147, (2015) 194–202 <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2014.09.023>
- [15] Mahmud 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, 1, (2016)
- [16] Dong Bing-zhi, Chen Yan, Gao Nai-yun, Fan Jin-chu, Effect of coagulation pretreatment on the fouling of ultrafiltration membrane, *Journal of Environmental Science*, 19, (2007) 278–283 [https://doi.org/10.1016/S1001-0742\(07\)60045-X](https://doi.org/10.1016/S1001-0742(07)60045-X)
- [17] Kah Peng Lee, Tom C. Arnot, Davide Mattia, A review of reverse osmosis membrane materials for desalination—Development to date and future potential, *Journal of Membrane Science*, 370, 1, (2011) 1–22 <https://doi.org/10.1016/j.memsci.2010.12.036>
- [18] Wladyslaw Kaminski, Joanna Marszalek, Elwira Tomczak, Water desalination by pervaporation – Comparison of energy consumption, *Desalination*, 433, (2018) 89–93 <https://doi.org/10.1016/j.desal.2018.01.014>
- [19] Bin Liang, Qian Li, Bing Cao, Pei Li, Water permeance, permeability and desalination properties of the sulfonic acid functionalized composite pervaporation membranes, *Desalination*, 433, (2018) 132–140 <https://doi.org/10.1016/j.desal.2018.01.028>
- [20] Lin Chen, Chengyi Wang, Shanshan Liu, Qinzhen Hu, Liang Zhu, Chuqing Cao, Investigation of the long-term desalination performance of membrane capacitive deionization at the presence of organic foulants, *Chemosphere*, 193, (2018) 989–997 <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2017.11.130>
- [21] Xing Yang, Sean Sheridan, Lining Ding, David K. Wang, Simon Smart, João C. Diniz da Costa, Audra Liubinas, Mikel Duke, Inter-layer free cobalt-doped silica membranes for pervaporation of ammonia solutions, *Journal of Membrane Science*, 553, (2018) 111–116 <https://doi.org/10.1016/j.memsci.2018.02.049>
- [22] 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>
- [23] 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>
- [24] M. C. Duke, R. Campbell, X. Cheng, A. Leo, J. C. Diniz da Costa, Characterization and Pervaporation Study on Ethanol Separation Membranes, *Drying Technology*, 27, 4, (2009) 538–541 <http://doi.org/10.1080/07373930802715294>
- [25] Nadezhda Rangelova, Lyubomir Aleksandrov, Sanchi Nenkova, Synthesis and characterization of pectin/SiO<sub>2</sub> hybrid materials, *Journal of Sol-Gel Science and Technology*, 85, 2, (2018) 330–339 <http://doi.org/10.1007/s10971-017-4556-z>
- [26] 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>
- [27] Maria-Magdalena Titirici, Robin J. White, Nicolas Brun, Vitaliy L. Budarin, Dang Sheng Su, Francisco del Monte, James H. Clark, Mark J. MacLachlan, Sustainable carbon materials, *Chemical Society Reviews*, 44, 1, (2015) 250–290 <http://doi.org/10.1039/C4CS00232F>
- [28] A. Lagazzo, E. Finocchio, P. Petrini, C. Ruggiero, L. Pastorino, Hydrothermal synthesis of pectin derived nanoporous carbon material, *Materials Letters*, 171, (2016) 212–215 <https://doi.org/10.1016/j.matlet.2016.02.105>
- [29] Muthia Elma, Nur Riskawati, Marhamah, Silica Membranes for Wetland Saline Water Desalination: Performance and Long Term Stability, *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 175, (2018) 012006 <http://doi.org/10.1088/1755-1315/175/1/012006>
- [30] Muthia Elma, Hairullah, Zaini Lambri Assyaifi, Desalination Process via Pervaporation of Wetland Saline Water, *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 175, (2018) 012009 <http://doi.org/10.1088/1755-1315/175/1/012009>
- [31] Muthia Elma, Christelle Yacou, David K. Wang, Simon Smart, João C. Diniz da Costa, Microporous Silica Based Membranes for Desalination, *Water*, 4, 3, (2012) 629–649 <http://doi.org/10.3390/w4030629>
- [32] Qasim H. Malik, Performance of alum and assorted coagulants in turbidity removal of muddy water, *Applied Water Science*, 8, 1, (2018) 40 <http://doi.org/10.1007/s13201-018-0662-5>
- [33] Astrid Herawati, Riistika Asti, Bambang Ismuyanto, Julia Nanda, AS Dwi Saptati N Hidayati, Pengaruh pH dan Dosis Koagulan Ekstrak Biji Kelor dalam Koagulasi terhadap Pengurangan Kekeruhan Limbah Cair, *Jurnal Rekayasa Bahan Alam dan Energi Berkelanjutan*, 1, 1, (2017) 25–28
- [34] Mika Sillanpää, Mohamed Chaker Ncibi, Anu Matilainen, Mikko Vepsäläinen, Removal of natural organic matter in drinking water treatment by coagulation: A comprehensive review, *Chemosphere*, 190, Supplement C, (2018) 54–71 <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2017.09.113>
- [35] P. S. Goh, W. J. Lau, M. H. D. Othman, A. F. Ismail, Membrane fouling in desalination and its mitigation strategies, *Desalination*, 425, Supplement C, (2018) 130–155 <https://doi.org/10.1016/j.desal.2017.10.018>
- [36] Muthia Elma, Fitriani, Arief Rakhman, Rahmi Hidayati, Silica P123 Membranes for Desalination of Wetland Saline Water in South Kalimantan, *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 175, (2018) 012007 <http://doi.org/10.1088/1755-1315/175/1/012007>

