

FORMULASI KOMPOSISI MEMBRAN KITOSAN DAN OPTIMASI PENGADUKAN DALAM PENURUNAN KANDUNGAN PADATAN LIMBAH CAIR KELAPA SAWIT

FORMULATION OF CHITOSAN MEMBRANE COMPOSITION AND STIRRING OPTIMIZATION FOR REDUCING TOTAL SOLID OF PALM OIL MILL EFFLUENT

Sri Wahyuni^{1,*}, Siswanto¹, dan Soekarno Mismana Putra¹

¹Pusat Penelitian Bioteknologi dan Bioindustri Indonesia, PT. Riset Perkebunan Nusantara, Bogor 16128, Indonesia

*E-mail: sri09wahyuni@gmail.com

ARTICLE INFO

Article history

Received date:

17 November 2016

Received in revised form date:

6 January 2017

Accepted date:

18 January 2017

Available online date:

31 May 2017

Abstract

Palm oil mill effluent (POME) is palm oil industry wastewater with high solid content. Waste filtration using chitosan membrane has been investigated to decrease the solid waste, but the final value have not met the quality standards yet. Therefore, further development of formulation and optimization of the membrane manufacturing process (composition and stirring speed) are needed. The purpose of this study was to determine the effect of composition and stirring speed on the performance of the membrane in decreasing the solid content of POME. Chitosan membrane was prepared by phase inversion method with two supporting materials, namely Poly Ethylene Glycol (PEG) and Poly Vinyl Alcohol (PVA). The variables of this experiment were Chitosan: ratio PVA (40:60, 45:55, 50:50, 55:45 and 60:40 (v/v)) and stirring speed (200 rpm and 250 rpm). Chitosan composite membrane was tested in a cross flow reactor system. The result showed that the highest rejection values of TSS and TDS generated by the membrane on the chitosan and PVA ratio of 50:50 (v:v) at stirring speed of 250 rpm were 96.84% and 97.23%, respectively.

Keywords: Chitosan membrane, POME, Solid rejection, TSS, TDS

Kata kunci:

Membran kitosan
POME

Penurunan padatan
TSS
TDS

Abstrak

Limbah cair kelapa sawit (LCKS) atau yang lebih dikenal dengan *POME* merupakan limbah cair industri kelapa sawit dengan kandungan padatan yang tinggi. Filtrasi limbah dengan menggunakan membran kitosan telah diteliti dapat menurunkan nilai padatan pada limbah POME, namun hasil filtrasi masih belum memenuhi baku mutu. Oleh karena itu, perlu dilakukan pengembangan kualitas membran dengan cara formulasi dan optimasi proses pembuatan membran (komposisi dan kecepatan pengadukan). Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh komposisi dan kecepatan pengadukan terhadap kinerja membran dalam penurunan nilai padatan *POME*. Membran kitosan dibuat dengan metode phase inversion dengan bahan pendukung Poli Etilene Glikol (PEG) dan Poli Vinil Alkohol (PVA). Komposisi yang diuji meliputi rasio kitosan: PVA (40:60, 45:55, 50:50, 55:45 dan 60:40 (v/v)) dan kecepatan pengadukan (200 rpm dan 250 rpm). Membran kitosan diujikan pada sistem reaktor *cross flow*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai penurunan TSS dan TDS tertinggi dihasilkan oleh membran pada rasio kitosan dan PVA 50:50 (v:v) pada kecepatan pengadukan 250 rpm yaitu masing-masing sebesar 96,84% dan 97,23%.

PENDAHULUAN

Pesatnya pertumbuhan industri minyak sawit di Indonesia selain memberikan dampak positif juga menimbulkan dampak negatif bagi masyarakat, khususnya limbah cair yang dihasilkan. Karakteristik kimia dari limbah cair kelapa sawit (LCKS) atau yang lebih sering kita kenal sebagai *palm oil mill effluent* (POME) memiliki nilai parameter yang jauh melebihi baku mutu limbah sawit yang ditetapkan, terutama nilai *Total Suspended Solid* (TSS) dan *Total Dissolved Solid* (TDS). Kadar TSS pada limbah POME mencapai 18.000-34.000 mg/L (Rupani et al. 2016), nilai tersebut jauh dari baku mutu limbah cair kelapa sawit yang ditetapkan oleh pemerintah, yaitu sebesar 250 mg/L (PerMenLH 2014). Keberadaan limbah tersebut menjadi masalah bagi para pengelola industri kelapa sawit, sehingga perlu dikembangkan sistem pengolahan limbah cair kelapa sawit yang secara signifikan dapat mengurangi nilai kandungan padatan limbah POME.

Dalam aplikasi pengolahan limbah cair khususnya penurunan nilai padatan limbah, filtrasi membran menjadi alternatif teknologi karena efisiensi pemisahannya yang tinggi. Filtrasi membran merupakan teknik pemisahan dua atau lebih campuran tanpa menggunakan panas dan terpisah berdasarkan ukuran dan bentuknya dengan bantuan tekanan dan selaput *semi-permeable* (Setiawan, Argo, and Hendrawan 2015). Bahan baku serta proses pembuatan membran sangat memengaruhi kinerja filtrasi membran (Suseno, Adiarto, and Atie 2003). Salah satu bahan yang paling banyak digunakan sebagai bahan membran adalah kitosan. Selain memiliki kemampuan dalam membentuk film, pengolahan mudah, dan ketersediaan yang melimpah; sifat polikationik kitosan berperan penting pada proses pemisahan padatan dalam aplikasi filtrasi (Dash et al. 2011).

Sifat polikationik kitosan mendorong terjadinya proses adsorpsi dan absorpsi pada membran sehingga polutan tidak hanya tertahan di permukaan membran, polutan yang lolos dari permukaan membran dan masuk ke dalam membran akan mengalami proses penyerapan kembali (absorpsi) oleh membran bagian dalam, sehingga polutan tetap tertahan didalam membran (Wahyuni 2016). Akan tetapi, sifat dasar kitosan yang rapuh dan hidroskopis masih menjadi kendala dalam aplikasi filtrasi, sehingga perlu dilakukan formulasi dan optimasi pada komposisi bahan dan proses pembuatan membran. Kitosan dapat dikombinasikan dengan *Polyvinyl Alcohol* (PVA) dan *Poly Ethylene Glikol* (PEG) untuk membentuk membran kitosan yang hidrofobik dan kuat (Ariyaskul et al. 2006; Hyder and Chen 2009; Bolto et al. 2009; Zhu et al. 2010; Yu et al. 2011; Erizal et al. 2013; Salehi and Madaeni 2014). Gugus amina pada kitosan akan bereaksi dengan gugus OH⁻ dari PVA melalui ikatan hidrogen sehingga akan memperkuat sifat komposit membran (Riyanto, Suwandi, dan Permana 2010; Lusiana, Siswanta, and Hayashita 2013). Pembentukan pori membran dan penyebarannya sangat menentukan kinerja membran. PEG sebagai *template* pori yang ditambahkan ke dalam komposit membran berperan dalam penyeragaman dan pemerataan distribusi pori membran (Salehi and Madaeni 2014; Mahatmanti, Nuryono, and Narsito 2016; Mahatmanti, Nuryono, and Narsito 2017).

Membran kitosan yang termodifikasi dengan PVA dan PEG telah terbukti efektif dalam pengolahan limbah industri (Yunarsih, Manurung, and Putra 2013; Hidayat 2014a; Hidayat 2014b). Walaupun pemanfaatan PVA dan PEG dalam pembuatan membran sudah dilaporkan, tetapi perlu dilakukan pengembangan kualitas membran dengan cara optimasi proses

pembuatan membran (rasio komposisi dan kecepatan pengadukan).

Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui formulasi komposisi membran kitosan dan optimasi kecepatan pengadukan optimum serta pengujian dalam penurunan nilai padatan limbah cair kelapa sawit. Hasil penelitian diharapkan dapat menjadi alternatif pengolahan limbah POME dalam penurunan total padatan, sehingga dapat mengurangi beban pengolahan lanjutan pada alur pengolahan limbah cair kelapa sawit.

METODE

Sintesis Kitosan

Kitosan yang digunakan dalam penelitian ini berasal dari limbah rajungan yang diperoleh dari PT. Kelola Mina Laut, Gresik. Proses sintesis kitosan dilakukan melalui tiga tahap, yaitu demineralisasi, deproteinasi, dan deasetilasi (Asni, Saadilah, and Saleh 2014). Tahap deproteinasi dilakukan dengan menggunakan larutan NaOH 3% dengan perbandingan kitosan dan NaOH sebesar 1:7 (b/v) pada suhu 100 °C selama satu jam. Tahap demineralisasi dilakukan dengan menggunakan HCL 3 N dengan perbandingan 1:10 (b/v) pada suhu kamar (30 °C) selama empat jam. Proses deasetilasi dilakukan dengan menggunakan larutan NaOH 50% pada suhu 135 °C selama satu jam. Kemudian disaring dengan menggunakan kertas saring dan residu berupa kitosan dicuci menggunakan aquades hingga PH air pencuci netral, kitosan yang diperoleh kemudian dikeringkan pada suhu 60 °C selama 48 jam.

Karakterisasi Kitosan

Karakterisasi kitosan meliputi penentuan bau, warna, kelarutan, kadar air, kadar abu, viskositas, dan pengukuran derajat deasetilasi (DD). Pengujian warna dan

bau dilakukan secara organoleptik. Pengujian kelarutan kitosan dilakukan dengan pelarutan dalam 20 ml asam asetat 1,5%. Pengujian viskositas dilakukan dengan menggunakan viskometer *Brookfield* seri DV-E *spindle* RV3. Pengujian kadar air dan kadar abu dilakukan dengan metode gravimetri (APHA, AWWA and WEF 2005), sedangkan pengujian derajat deasetilasi dilakukan dengan metode titrasi asam basa (Czechowska-biskup et al. 2012). Nilai DD dirumuskan sebagai berikut:

$$DD(\%) = 2,03 \frac{V_2 - V_1}{m + 0,0042 V_2 - V_1} , \quad (1)$$

dimana:

m = berat sampel kitosan (gr)
 V_1 = volume awal titrasi (ml)
 V_2 = volume akhir titrasi (ml)

Sintesis Membran Kitosan

Sintesis membran kitosan menggunakan metode inversi fasa (*Phase Inversion*) dengan penguapan pelarut pada suhu pengeringan 80 °C (Cheng et al. 2010; De-Carlo et al. 2014). Membran kitosan dibuat dengan variasi rasio komposisi kitosan:P-VA sebesar 40:60, 45:55, 50:50, 55:45 dan 60:40 (v/v) serta variasi pengadukan pada 200 rpm dan 250 rpm. Membran kitosan dengan variasi rasio 40:60(v/v) dan kecepatan 200 rpm dibuat dengan menambahkan 0,25 gram PEG pada campuran 40 ml kitosan 5% (w/v) dan 60 ml PVA 5% (w/v) dalam pengadukan 200 rpm hingga homogen. Larutan kemudian dituang pada cawan petri dan dikeringkan pada suhu 80 °C selama 24 jam untuk membentuk lapisan membran. Pelepasan membran dilakukan dengan perendaman NaOH 1% (b/v) selama dua jam. Membran kemudian dicuci menggunakan aquades hingga pH air pencuci netral, dipotong dengan ukuran diameter 4 cm, dan disimpan dalam ren-

daman aquades sebelum digunakan dalam aplikasi filtrasi.

Analisis Kuat Tarik dan Morfologi Membran

Karakterisasi membran meliputi uji kekuatan mekanik dan morfologi membran. Analisis morfologi membran dan unsur kimia dalam membran sebelum dan setelah aplikasi filtrasi dilakukan dengan menggunakan *scanning electron microscopy and energy dispersive x-ray* (SEM-EDAX, SEM-INSPECT 150 EDAX-Amatex Genesis Apex 2) (Tomás-Alonso et al. 2013). Pengujian SEM-EDAX dilakukan di Laboratorium Divisi Karakterisasi Material-Jurusana Material dan Metalurgi, Institut Teknologi Sepuluh Noverember Surabaya. Pengujian kekuatan mekanik membran dilakukan dengan uji tarik yang dilakukan pada suhu ruang dengan menggunakan alat *Autograph AG-X TE Shimadzu*. Pengujian kuat tarik dilakukan di Laboratorium Dasar Bersama-Fakultas Farmasi, Universitas Airlangga.

Aplikasi Filtrasi dengan Reaktor Crossflow dan Penentuan Nilai Fluks

Aplikasi filtrasi limbah POME dilakukan dengan menggunakan sistem reaktor *cross-flow* pada tekanan 3 bar dan filtrasi dilakukan selama 50 menit, dimana limbah POME diumparkan ke dalam reaktor dengan menggunakan *boosterpump* (Sari 2014). Permeabilitas membran dilakukan dengan pengujian fluks. Fluks membran ditentukan berdasarkan volume filtrat yang lolos melewati membran dengan diameter kontak 3 cm pada selang waktu 50 menit. Selektivitas membran dilakukan dengan pengujian rejeki membran terhadap padatan (TSS dan TDS) dari limbah POME. Selektivitas membran ditentukan berdasarkan nilai

padatan sebelum dan sesudah aplikasi filtrasi.

Analisis TDS dan TSS

Limbah POME yang digunakan dalam penelitian ini merupakan *outlet cooling pond* yang telah melalui proses pendinginan dan pengendapan awal. Pengukuran kandungan padatan (TDS dan TSS) dalam limbah sebelum dan setelah aplikasi filtrasi dilakukan dengan menggunakan metode gravimetric (APHA, AWWA, and WEF 2005). Nilai TSS dan TDS dihitung berdasarkan rumus berikut:

$$TSS \left(\frac{mg}{L} \right) = \frac{(c - a - b)}{\text{vol. sampel}} \times 1000 \times 1000, \quad (2)$$

$$TDS \left(\frac{mg}{L} \right) = \frac{(d - a)}{\text{vol. sampel}} \times 1000 \times 1000, \quad (3)$$

dimana:

a = berat cawan porselin awal

b = berat kertas saring awal

c = berat residu, kertas saring dan porselin setelah pemanasan 105 °C

d = berat filtrat dan porselin setelah pemanasan 105 °C

Analisis Statistik

Data dalam penelitian disajikan dalam bentuk rata-rata dan dianalisis menggunakan *two way analysis of variance* (ANOVA) yang diujikan pada program SPSS16. Analisa dilakukan dengan menggunakan dua faktor (rasio komposisi membran dan kecepatan pengadukan) dengan taraf kepercayaan % (0,05).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Karakterisasi Kitosan

Dalam penelitian, kitosan yang telah berhasil dibuat memiliki rendemen sebesar 8,72% (b/b). Hasil rendemen dari limbah rajungan ini lebih tinggi dibandingkan penelitian sebelumnya, yaitu sebesar 4,65% (Bolat et al. 2010).

Tabel 1. Karakterisasi kitosan dari rajungan

Parameter	Hasil analisis	Baku mutu*
Warna	putih kecoklatan	putih
Bau	tidak berbau	tidak berbau
Klarutan	Larut	
Kadar air	9.62%	<10%
Kadar abu	0.37%	<2%
Derajat Deasetilasi	93.51%	>70%
Viskositas (larutan kitosan 5%)	262.23 cps	200-799 cps (medium)

Sumber (PROTAN laboratories 1987)

Hasil karakterisasi kitosan diketahui telah memenuhi baku mutu sehingga kitosan yang telah dibuat layak untuk dijadikan bahan baku membran kitosan (Tabel 1). Derajat deasetilasi merupakan parameter penting dalam kualitas kitosan. Derajat deasetilasi menunjukkan persentase gugus asetyl yang dapat dihilangkan dari kitin sehingga dihasilkan kitosan. Derajat deasetilasi yang tinggi menunjukkan rendahnya gugus asetyl yang masih terkandung dalam kitosan. Semakin sedikit gugus asetyl pada kitosan, maka interaksi antar ion dan ikatan hidrogen dari kitosan akan semakin kuat (Patria 2013).

Kandungan Awal Padatan POME

Karakterisasi kandungan padatan awal limbah sebelum aplikasi filtrasi dilakukan pada suhu limbah 30 °C.

Tabel 2. Karakteristik awal POME

Parameter	Satuan	Karakteristik	
		Hasil Analisis	Baku Mutu
Suhu	°C	30	30*
pH		4.8	6-9*
TSS	mg/l	19.000-20.000	250*
TDS	mg/l	7.000-10.000	1000**

*sumber (Peraturan Menteri Lingkungan Hidup 2014)

**sumber (Peraturan Pemerintah 2001)

Secara fisik, limbah POME berwarna coklat kehitaman, berbau menyengat, berminyak dengan suhu ±31 °C. Bau menyengat dan warna hitam pada POME disebabkan tingginya kandungan bahan organik yang terdekomposisi dan teroksidasi oleh mikroba yang terkandung dalam POME. Dari hasil analisis pada Tabel 2, karakteristik POME (TSS dan TDS) masih jauh dari standar baku mutu limbah cair PKS yang berlaku, sehingga diperlukan sistem pengolahan yang baik dalam penurunan nilai padatan limbah POME. Tingginya kandungan TDS dan TSS limbah POME dikarenakan serat halus buah yang lolos pada proses penyaringan dan terikut dalam aliran limbah yang berupa padatan halus tersuspensi.

Pengaruh Rasio Komposisi Membran dan Kecepatan Pengadukan terhadap Kekuatan Mekanik Membran

Berdasarkan Tabel 3, dapat dilihat bahwa kecepatan pengadukan memberikan pengaruh signifikan pada kuat tarik membran ($\alpha=0.013$). Kuat tarik membran pada kecepatan pengadukan 250 rpm lebih besar dibandingkan dengan kecepatan 200 rpm. Hal ini disebabkan karena pada kecepatan pengadukan 250 rpm, ikatan dan reaksi penggabungan antara kitosan, PVA, dan PEG terjadi lebih sempurna. Pengadukan menjadikan partikel-partikel zat bergerak

dan bersentuhan dengan partikel lainnya sehingga reaksi dapat berjalan dengan lebih cepat dan sempurna. Selain itu, pemberian PEG juga berfungsi untuk meningkatkan elastisitas membran, sehingga meningkatkan kuat tarik membran (Croisier and Jérôme 2013).

Tabel 3. Nilai kuat tarik membran pada variasi rasio membran dan kecepatan pengadukan

Rasio kitosan:PVA	Konsentrasi kitosan (%, v/v)	Kuat Tarik Membran (kgf/cm ²)	
		200 rpm	250 rpm
40:60	40	0.74	0.78
45:55	45	0.86	1.25
50:50	50	1.05	1.37
55:45	55	1.19*	1.64*
60:40	60	1.05	1.47

Keterangan: *beda nyata, $\alpha < 0,05$

Berdasarkan Tabel 3, baik pada pengadukan 200 rpm maupun 250 rpm, dapat dilihat bahwa kekuatan membran meningkat dengan meningkatnya persentase kitosan dalam campuran dan mencapai titik optimal pada rasio 55:45 diikuti dengan penurunan kuat tarik pada peningkatan konsentrasi kitosan dalam campuran. Nilai kuat tarik membran terbesar didapatkan pada membran dengan rasio komposisi kitosan:PVA sebesar 55:45 pada kecepatan pengadukan 250 rpm. Hal tersebut didukung oleh penelitian sebelumnya yang menyatakan bahwa nilai kekuatan tarik pada saat putus meningkat dengan meningkatnya komposisi kitosan (Farha and Kusumawati 2012; Setiawan, Argo, and Hendrawan 2015). Semakin besar rasio kitosan yang ditambahkan dalam campuran membran, maka nilai kuat tariknya cenderung meningkat. Hal ini menunjukkan bahwa kitosan sebagai biopolimer cenderung meningkatkan kuat tarik pada formulasi tertentu sehingga membran menjadi lebih rapat.

Pada konsentrasi kitosan dari 40% s.d. 55% (v/v) kuat tarik mengalami kenaikan

dan mengalami penurunan pada rasio komposisi kitosan 60%. Penurunan kuat tarik membran disebabkan karena pada rentang konsentrasi 55-60% komposisi membran didominasi oleh kitosan dan sedikit PVA sehingga kekuatan plastik membran berkurang (Farha and Kusumawati 2012). Struktur dan pori membran dipengaruhi oleh massa kitosan dalam campuran membran. Semakin besar konsentrasi kitosan hingga titik tertentu akan menghasilkan membran dengan struktur yang lebih baik, kemudian akan terjadi penumpukan kitosan pada membran dengan penambahan konsentrasi kitosan lebih lanjut dalam larutan (Rohman, Baroroh, and Utami 2009).

Pengaruh Rasio Komposisi Membran dan Kecepatan Pengadukan terhadap Nilai Fluks

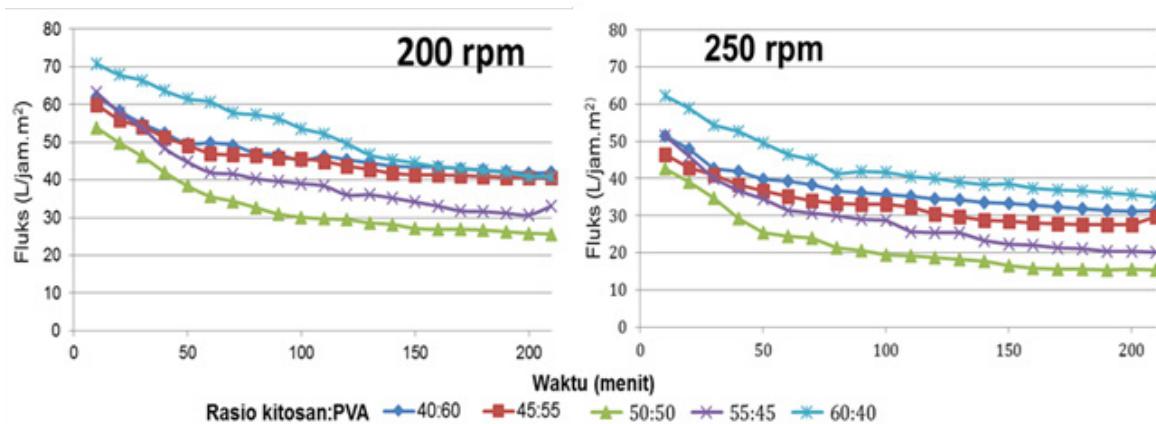
Berdasarkan pada Gambar 1, semakin lama waktu pengoperasian maka semakin kecil fluks yang dihasilkan. Hal ini diakibatkan terjadinya *fouling* pada membran yang disebabkan oleh adanya adsorpsi polutan limbah ke permukaan dan dalam membran, sehingga partikel-partikel terakumulasi dan membentuk lapisan pada permukaan dan pori dalam membran yang menyebabkan penyempitan pada pori yang berakibat menurunnya nilai fluks membran (Nasir, Budi, and Silviaty 2013). Hal ini juga didukung oleh analisis SEM-EDX (Gambar 2).

Berdasarkan analisis SEM-EDX, komposisi unsur membran sebelum membran digunakan untuk mengolah limbah POME mengandung unsur C dan O. Unsur-unsur tersebut berasal dari bahan utama pembuatan membran dan bahan pendukung membran. Bahan utama pembuatan membran adalah kitosan yang mengandung unsur C, H, N, dan O dan bahan pendukungnya, yaitu Poly (vinyl) Alcohol dan Poly (ethylene) Glycol yang mengandung unsur

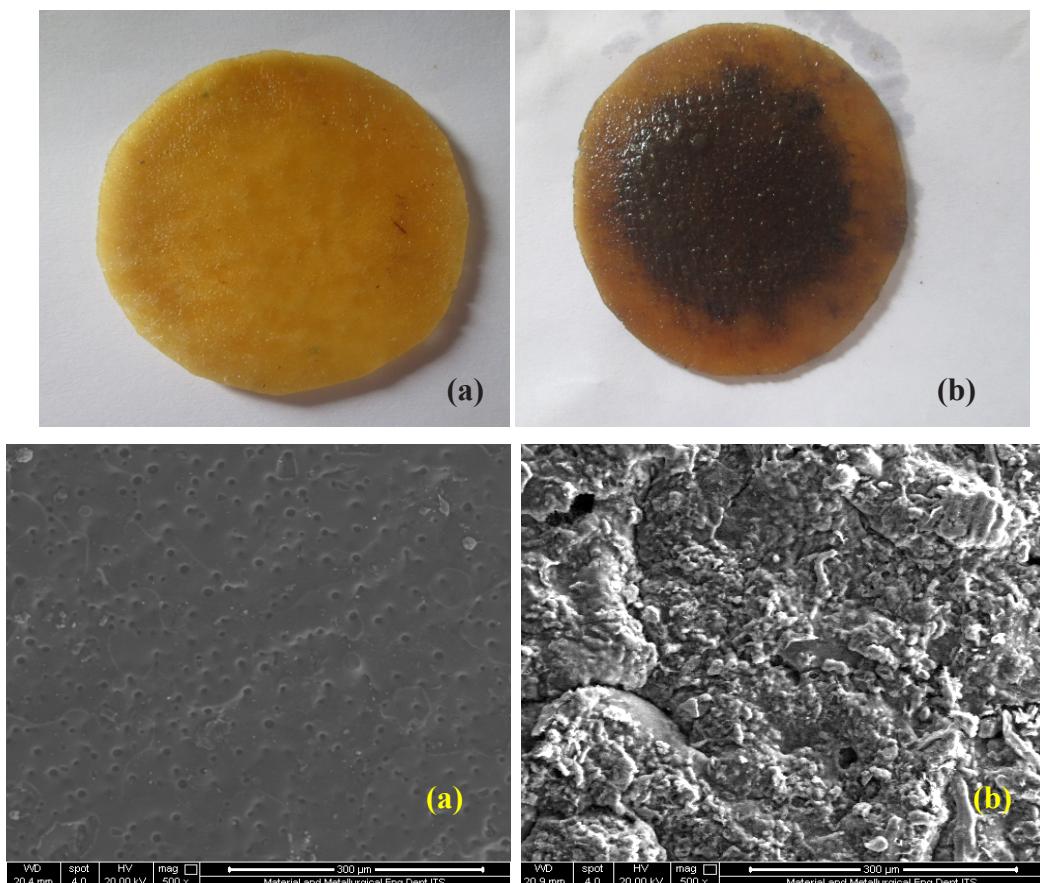
C, H dan O. Setelah aplikasi filtrasi di dalam membran terdapat unsur-unsur lain, yaitu Mg, Al, Si, P, S, Cl, K, Ca, dan Fe. Unsur-unsur tersebut berasal dari polutan limbah POME yang tidak lolos dan terjebak dalam pori membran.

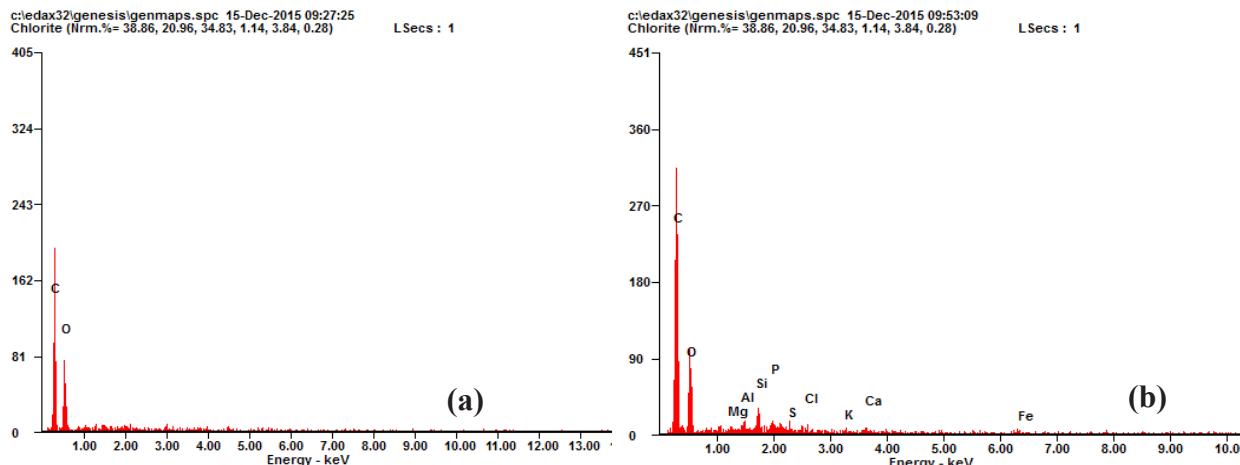
Fouling membran terjadi pada menit ke 150 yang ditandai dari nilai fluks yang cenderung konstan hingga menit ke 210 (Gambar 1). Nilai fluks membran pada pe-

ngadukan 250 rpm lebih kecil dibandingkan kecepatan 100 rpm. Nilai fluks membran dengan rasio komposisi kitosan dari 40%-50% cenderung mengalami penurunan dan pada komposisi 50%-60% mengalami kenaikan. Penurunan nilai fluks menunjukkan bahwa pada konsentrasi kitosan 40%-50%, pori membran berada pada titik maksimum pembentukan pori membran, sedangkan penambahan konsentrasi kitosan dari 50%



Gambar 1. Pengaruh rasio komposisi membran dan kecepatan pengadukan terhadap nilai fluks membran





Gambar 2. Penampakan morfologi dan komposisi unsur membran (ratio 50:50 (v:v) dan kecepatan 250 rpm) yang dianalisis dengan SEM-EDX pada pembesaran 500x sebelum filtrasi (a) dan setelah filtrasi 150 menit (b)

menuju 60% akan memperbesar pembentukan pori. Hal ini dikarenakan kandungan PVA sebagai matrik dalam membran tidak dapat mengimbangi kelebihan kandungan kitosan, sehingga kelebihan kitosan tersebut mendominasi sifat membran pori.

Pengaruh Rasio Komposisi Membran dan Kecepatan Pengadukan terhadap Nilai Rejeksi TDS dan TSS

Berdasarkan hasil pengujian dan perhitungan, dengan nilai TSS dan TDS awal sebesar 19.000-21.000 mg/L dan 7.000-10.000 mg/L, didapatkan nilai rejeksi TSS untuk masing-masing variasi yang ditunjukkan pada Tabel 4 dan Tabel 5.

Tabel 4. Nilai penurunan TSS pada variasi rasio membran dan kecepatan pengadukan

Rasio kitosan:PVA	Nilai penurunan TSS (%)	
	200 rpm	250 rpm
40:60	87,39	89,72
45:55	89,72	92,49
50:50	92,19*	96,84*
55:45	91,17	92,89
60:40	88,41	89,33

Keterangan: *beda nyata, $\alpha<0,05$

Tabel 5. Nilai penurunan TDS pada variasi rasio membran dan kecepatan pengadukan

Rasio kitosan:PVA	Nilai penurunan TDS (%)	
	200 rpm	250 rpm
40:60	88,84	92,49
45:55	90,59	93,68
50:50	92,92*	97,23*
55:45	91,47	94,07
60:40	89,13	92,09

Keterangan: *beda nyata, $\alpha<0,05$

Berdasarkan pada Tabel 4 dan Tabel 5, rasio kitosan: PVA memberikan pengaruh signifikan pada nilai rejeksi TSS ($\alpha=0$) maupun TDS ($\alpha=0,005$). Nilai rejeksi tertinggi dihasilkan oleh membran pada rasio kitosan dan PVA 50:50 (v:v) pada kecepatan pengadukan 250 rpm. Nilai rejeksi TDS dan TSS membran dengan rasio komposisi kitosan dari 40%-50% cenderung mengalami kenaikan dan pada komposisi 50%-60% mengalami penurunan. Hal ini berkaitan dengan pembentukan pori membran. Semakin kecil pori membran maka selektivitas membran akan semakin meningkat, sehingga nilai rejeksinya juga meningkat. Titik optimal komposisi kitosan dan PVA pada membran didapatkan pada komposisi 50:50 (v:v). Pada komposisi

tersebut, kitosan sebagai adsorben dan absorben padatan bereaksi sempurna dengan PVA menghasilkan membran dengan pori terbaik sehingga menghasilkan nilai rejeksi yang tinggi. Pada konsentrasi kitosan 55% dan 60% membran didominasi oleh kitosan dan sedikit PVA, sehingga kerapuhan kitosan mendominasi sifat membran.

Kecepatan pengadukan pada proses pembuatan membran memengaruhi nilai rejeksi TSS ($\alpha=0,012$) dan TDS ($\alpha=0,025$) membran. Kecepatan pengadukan 250 rpm menghasilkan nilai rejeksi lebih tinggi dibandingkan dengan kecepatan pengadukan 200 rpm. Perbedaan nilai rejeksi ini disebabkan karena pada kecepatan tinggi, homogenisasi larutan, dan pembentukan pori lebih sempurna sehingga membentuk pori yang lebih rapat dibandingkan dengan pengadukan pada kecepatan rendah.

Berdasarkan Gambar 1, Tabel 4, dan Tabel 5, nilai fluks berbanding terbalik dengan nilai rejeksi TSS dan TDS. Proses pemisahan padatan dengan menggunakan membran dengan peningkatan nilai rejeksi akan diikuti dengan menurunnya fluks *permeate*. Nilai rejeksi TSS dan TDS yang tinggi berkaitan dengan ukuran pori. Semakin kecil dan sempit pori membran, maka akan lebih sulit untuk melewati pori membran sehingga meningkatkan nilai rejeksi membran (Sari 2014; Wahyuni 2016). Berdasarkan Tabel 4 dan 5, nilai rejeksi TDS lebih besar dibandingkan nilai rejeksi TSS, hal ini menunjukkan bahwa *dissolved solid* yang sulit dipisahkan dari limbah POME terbukti dapat dipisahkan secara baik dengan aplikasi filtrasi membran.

KESIMPULAN

Berdasarkan nilai kuat tarik, fluks, dan nilai rejeksi padatan (TDS dan TSS), membran paling optimal didapatkan pada rasio kitosan:PVA sebesar 50:50(v:v) dan kecepatan pengadukan 250 rpm. Persentase penurunan TSS dan TDS tertinggi adalah sebesar 96,84% dan 97,23%.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Direktorat Pendidikan Tinggi, Kementerian Pendidikan dan Kebudayaan Republik Indonesia yang telah memberikan dukungan finansial melalui beasiswa *Fresh Graduate* tahun 2014-2016 serta seluruh pihak yang mendukung dan membantu penelitian dalam jurnal ini.

DAFTAR ACUAN

- APHA, AWWA, and WEF. 2005. *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater 21th Edition*. Edited by Mary Ann Franson. American Public Health Association. 21st ed. Washington DC: American Public Health Association.
- Ariyaskul, A S, R Y M Huang, P L Douglas, R Pal, X Feng, P Chen, and L Liu. 2006. "Blended Chitosan and Polyvinyl Alcohol Membranes for the Pervaporation Dehydration of Isopropanol." *Journal of Membrane Science* 280: 815–23.
- Asni, Nurul, M Arif Saadilah, and Djonaedi Saleh. 2014. "Optimasi Sintesis Kitosan dari Cangkang Kepiting sebagai Adsorben Logam Berat Pb(II)." *Jurnal Fisika dan Aplikasi* 15 (1): 18–25.
- Bolat, Yıldız, Şengül Bilgin, Ali Günlü, Levent Izci, Seval Bahadir Koca, Soner Çetinkaya, and H. U. Koca. 2010. "Chitin-Chitosan Yield of Freshwater Crab (Potamon Potamios, Olivier 1804) Shell." *Pakistan Veterinary Journal* 30 (4): 227–31.

- Bolto, Brian, Thuy Tran, Manh Hoang, and Zongli Xie. 2009. "Progress in Polymer Science Crosslinked Poly (Vinyl Alcohol) Membranes." *Progress in Polymer Science* 34: 969–81.
- Cheng, Zihong, Xiaoshuai Liu, Mei Han, and Wei Ma. 2010. "Adsorption Kinetic Character of Copper Ions onto a Modified Chitosan Transparent Thin Membrane from Aqueous Solution." *Journal of Hazardous Materials* 182. Elsevier B.V.: 408–15.
- Croisier, Florence, and Christine Jérôme. 2013. "Chitosan-Based Biomaterials for Tissue Engineering." *European Polymer Journal* 49 (4): 780–92.
- Czechowska-biskup, Renata, Diana Jarosińska, Bożena Rokita, Piotr Ułański, and Janusz M Rosiak. 2012. "Determination of Degree of Deacetylation of Chitosan - Comparison of Methods." *Progress on Chemistry and Application of Chitin and Its Derivatives XVII*: 5–20.
- Dash, M., F. Chiellini, R. M. Ottenbrite, and E. Chiellini. 2011. "Chitosan - A Versatile Semi-Synthetic Polymer in Biomedical Applications." *Progress in Polymer Science (Oxford)* 36 (8): 981–1014.
- DeCarlo, Arthur, Ellis, April, Dooley, Thomas, Belousova, and Maria. 2014. Composition, Preparation and Use of Dence Chitosan Membrane Materials. US 8, 735, 571 B2, issued 2014.
- Erizal, Dian Pribadi Perkasa, Zuhelmi Aziz, and GS Sulistioso. 2013. "Modifikasi Fisiko Kimia Membran Komposit Kitosan Polivinil Alkohol Hasil Casting dengan Teknik Induksi Iradiasi Gamma." *Indonesian Journal of Materials Science* 14 (3): 166–72.
- Farha, Indah F, and Nita Kusumawati. 2012. "Pembuatan Membran Komposit Kitosan-PVA dan Pemanfaatannya pada Pemisahan Limbah Pewarna Rhodamin B." *UNESA Journal of Chemistry* 1 (2): 31–38.
- Hidayat. 2014a. "Sintesis Membran Kitosan – PEG (Polietilen Glikol) dan Aplikasinya Sebagai Adsorben Ion Cr⁶⁺ Dan Ion Ni²⁺dalam Larutan." *Skripsi*, Jurusan Kimia Universitas Negeri Semarang.
- Hidayat, Fikri. 2014b. "Penurunan Kandungan Zat Warna pada Limbah Songket Menggunakan Membran Komposit Berbasis Kitosan-PVA secara Ultrafiltrasi." *Skripsi*, Jurusan Teknik Kimia Politeknik Negeri Sriwijaya.
- Hyder, M N, and P Chen. 2009. "Pervaporation Dehydration of Ethylene Glycol with Chitosan – Poly (Vinyl Alcohol) Blend Membranes : Effect of CS – PVA Blending Ratios." *Journal of Membrane Science* 340: 171–80.
- Lusiana, Retno Ariadi, Dwi Siswanta, and Takashi Hayashita. 2013. "The Influence of PVA . Cl . Citric Acid/ Chitosan Membrane Hydrophilicity." *Indonesian Journal of Chemistry* 13 (3): 262–70.
- Mahatmanti, F Widhi, Nuryono, and Narsito. 2016. "Adsorption of Ca (II), Mg (II), Zn (II), and Cd (II) on Chitosan Membrane Blended with Rice Hull Ash Silica and Polyethylene Glycol." *Indonesian Journal of Chemistry* 16 (1): 45–52.
- Mahatmanti, Nuryono, and Narsito. 2017. "Porous Chitosan-Silica-Polyethylene Glycol Membrane for Dynamic Adsorption of Binary Mixtures Cu(II) and Zn(II) Ions." *International Journal of Materials, Mechanics and Manufacturing* 5 (1): 20–23.
- Nasir, Subriyer, Teguh Budi, and Idha Silviaty. 2013. "Aplikasi Filter Keramik Berbasis Tanah Liat Alam Dan Zeolit Pada Pengolahan Air Limbah Hasil Proses Laundry." *Jurnal Bumi Lestari* 13 (1): 45–51.
- Patria, A. 2013. "Production and Characterization of Chitosan from Shrimp Shell Waste." *International Journal of the Bioflux Society* 6 (4): 339–44.
- Peraturan Pemerintah. 2001. "Pengelolaan

- Kualitas Airdan Pengendalian PencemaranAir.”*Peraturan Pemerintah Republik Indonesia No 82*. doi:10.1017/CBO9781107415324.004.
- PerMenLH. 2014. “Baku Mutu Air Limbah bagi Usaha dan/atau Kegiatan Industri Minyak Sawit, Jakarta 1815.” *PerMenLH No 5 1815 5* (1815).
- PROTAN laboratories. 1987. *Cation Polymer for Recovery Valuable by Products from Processing Waste*. Washington USA: PROTAN Laboratories Inc.
- Rahardjo, Nugro. 2005. “Permasalahan Teknis Instalasi Pengolahan Air Limbah Pabrik Minyak Kelapa Sawit.” *Jurnal Agribisnis Indonesia* 1 (1): 43–51.
- Riyanto, Bambang, Ruddy Suwandi, and Ikhwan Dimas Permana. 2010. “Karakteristik Composite Biofiber Textile Berbahan Dasar Kitosan dan Polivinilalkohol (PVA) Melalui Proses Pemintalan Basah.” *Jurnal Pengolahan Hasil Perikanan Indonesia* 8 (1): 12–25.
- Rohman, Taufiqur, Umi Baroroh, dan Lili Utami. 2009. “Pengaruh Konsentrasi Kitosan Terhadap Karakter Membran Kitosan.” *Jurnal Sains Dan Terapan Kimia* 2 (1): 14–24.
- Rupani, Parveen, MH Ibrahim, RP Songh, and N Esa. 2016. “Review of Current Palm Oil Mill Effluent (POME) Treatment Methods: Vermicomposting as a Sustainable Practice.” *World Applied Sciences Journal* 10 (10): 1190–1201.
- Salehi, E., and S. S. Madaeni. 2014. “Influence of Poly(ethylene Glycol) as Pore-Generator on Morphology and Performance of Chitosan/poly(vinyl Alcohol) Membrane Adsorbents.” *Applied Surface Science* 288: 537–41.
- Sari, Tika Kumala. 2014. “Pengolahan Limbah Laundry Menggunakan Membran Nanofiltrasi Zeolit Variasi Massa untuk Filtrasi Kekeruhan dan Fosfat.” *Skripsi Jurusan Teknik Lingkungan*, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.
- Setiawan, Dian Aris, Bambang Dwi Argo, dan Yusuf Hendrawan. 2015. “Pengaruh Konsentrasi dan Preparasi Membran terhadap Karakterisasi Membran Kitosan.” *Jurnal Keteknikan Pertanian Tropis Dan Biosistem* 3 (1): 95–99.
- Suseno, Natalia, Tokok Adiarto, dan S Atie. 2003. “Sintesis dan Optimasi Membran Selulosa Asetat pada Proses Mikrofiltrasi Bakteri.” *Unitas* 11 (2): 29–45.
- Tomás-Alonso, Francisca, Aurora M Rubio, Rodrigo Álvarez, and Joaquín A Ortuño. 2013. “Dynamic Potential Response and SEM-EDX Studies of Polymeric Inclusion Membranes Based on Ionic Liquids.” *Int. J. Electrochem. Sci* 8: 4955–69.
- Wahyuni, Sri. 2016. “Studi Pembuatan dan Penggunaan Membran Chitosan dalam Pengolahan Limbah POME(Palm Oil Mill Effluent).” *Tesis Jurusan Teknik Lingkungan*, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.
- Yu, Qian, Yanan Song, Xiaomei Shi, Chunye Xu, and Yuezhen Bin. 2011. “Preparation and Properties of Chitosan Derivative / Poly (Vinyl Alcohol) Blend Film Crosslinked with Glutaraldehyde.” *Carbohydrate Polymers* 84 (1). Elsevier Ltd.: 465–70.
- Yunarsih, Ni Made, Imanuntun Manurung, dan Ketut Gede Dharma Putra. 2013. “Efektivitas Membran Khitosan dari Kulit Udang Galah (*Macrobanchium Rosenbergii*) untuk Menurunkan Fosfat dalam Air Limbah Laundry.” *Jurnal Cakra Kimia* 1 (2): 25–32.
- Zhu, Yuexin, Shanshan Xia, Gongping Liu, and Wanqin Jin. 2010. “Preparation of Ceramic-Supported Poly (Vinyl Alcohol)– Chitosan Composite Membranes and Their Applications in Pervaporation Dehydration of Organic / Water Mixtures.” *Journal of Membrane Science* 349: 341–48.

