

Penggunaan membran kitosan untuk penurunan COD dan BOD limbah cair kelapa sawit

The use of chitosan membrane to decrease COD and BOD of palm oil mill effluent

Sri WAHYUNI^{1*)}, SISWANTO¹⁾ & Alia DAMAYANTI²⁾

¹⁾ Pusat Penelitian Bioteknologi dan Bioindustri Indonesia, Jl. Taman Kencana No.1, Bogor 16128, Indonesia

²⁾ Jurusan Teknik Lingkungan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Kampus ITS Keputih, Sukolilo, Surabaya 60111, Indonesia

Diterima tanggal 12 Mei 2016 /disetujui tanggal 5 Oktober 2016

Abstract

Oil palm is the most important estate crop in Indonesia. One of the major problems in palm oil industry is the difficulty to degrade palm oil mill effluent (POME) due to the high content of COD and BOD. POME can be processed physico-chemically using membrane filtration technology. Chitosan is one of the most widely used materials for producing membrane filtration. Composite of chitosan-PVA-PEG is a highly mixture absorbent, which may possibly be used as a membrane in filtration process of POME. The experiment was started with the production of composite membrane, and then filtration application using cross-flow reactor system. The variables of this experiment were chitosan and PVA ratio (3:7, 4:6, 1:1, 6:4 and 7:3), and stirring speed (100 rpm and 300 rpm). The reactor test was conducted for 50 minutes and the permeate was taken every 10 minutes. Parameters analyzed were flux, COD and BOD. The result showed that the highest flux values in the variation of the stirring speed of 100 rpm and 300 rpm were 40.20 L/m².h and 27.15 L/m².h, respectively. The highest rejection values of COD and BOD were obtained in membrane ratio of 1:1 and stirring speed of 300 rpm, which were 97.24% and 97.60%, respectively.

[Keywords: chitosan membrane, flux, BOD and COD rejection, POME]

Abstrak

Kelapa sawit merupakan tanaman perkebunan terpenting di Indonesia. Salah satu kendala utama yang dialami industri kelapa sawit saat ini adalah sulitnya proses degradasi limbah cair kelapa sawit (LCKS) akibat tingginya kandungan COD dan BOD. Secara fisika-kimia, POME dapat diolah menggunakan teknologi filtrasi membran. Kitosan merupakan salah satu bahan yang banyak digunakan dalam pembuatan membran filtrasi. Komposit kitosan-PVA-PEG merupakan campuran yang memiliki daya serap tinggi sehingga memungkinkan

digunakan sebagai membran dalam filtrasi POME. Penelitian diawali dengan pembuatan membran komposit, dilanjutkan dengan aplikasi filtrasi menggunakan sistem reaktor *cross flow*. Perlakuan yang digunakan yaitu ratio kitosan:PVA (3:7, 4:6, 1:1, 6:4 dan 7:3) dan kecepatan pengadukan (100 rpm dan 300 rpm). Pengujian pada reaktor dilakukan selama 50 menit dan *permeate* diambil setiap 10 menit. Parameter yang dianalisis adalah fluks, COD dan BOD. Dari penelitian yang telah dilakukan didapatkan nilai fluks tertinggi pada variasi kecepatan pengadukan 100 rpm dan 300 rpm masing-masing sebesar 40,20 L/m².jam dan 27,15 L/m².jam. Nilai rejeksi COD dan BOD tertinggi diperoleh pada rasio membran 1:1 dan kecepatan pengadukan 300 rpm yaitu masing-masing 97,24% dan 97,60%.

[Kata kunci: membran kitosan, fluks, rejeksi BOD dan COD, POME]

Pendahuluan

Penanganan limbah pabrik kelapa sawit (PKS) khususnya limbah cair masih menjadi masalah yang disebabkan sulitnya proses degradasi limbah cair kelapa sawit (POME) akibat tingginya kuantitas dan kandungan kontaminan. POME mengandung COD sebesar 25.000-36.000 mg/L dan BOD sebesar 23.000-32.000 mg/L (Rahardjo, 2005). Nilai tersebut masih belum memenuhi kriteria baku mutu limbah cair industri kelapa sawit khususnya nilai COD yang masih jauh di atas 350 mg/L dan nilai BOD yang masih di atas 100 mg/L (Peraturan Kementerian Lingkungan Hidup, 2014). Sampai saat ini hampir semua PKS di Indonesia masih menggunakan metode konvensional dalam pengolahan POME dengan sistem kolam limbah (*anaerobic-aerobic pond*), namun sistem kolam ini kurang ramah lingkungan karena melepaskan banyak gas metana ke atmosfer. Oleh karena itu diperlukan perbaikan dan penyempurnaan sistem industri khususnya penanganan limbah cair POME dalam penurunan COD dan BOD.

Filtrasi dengan membran merupakan alternatif teknologi baru yang ramah lingkungan dalam mengatasi masalah limbah cair. Filtrasi membran merupakan teknik pemisahan dua komponen atau lebih tanpa menggunakan panas. Komponen-komponen tersebut akan terpisah berdasarkan ukuran dan bentuknya, dengan bantuan tekanan dan selaput *semi-permeable* (Setiawan *et al.*, 2015). Dalam proses pembuatannya, bahan baku serta proses pembuatan membran sangat mempengaruhi permeabilitas dan selektivitas membran (Suseno, 2003) sehingga perlu dilakukan formulasi dan optimasi komposisi bahan dan proses pembuatan membran.

Kitosan (CS) adalah salah satu bahan yang paling banyak digunakan sebagai bahan membran karena memiliki kemampuan dalam membentuk film, pengolahan mudah dan ketersediaan yang melimpah (Dash *et al.*, 2011). Sebagai contoh, membran CS telah digunakan dalam desalinasi (Huang *et al.*, 2008; Huang *et al.*, 2009), pervaporasi dehidrasi organik (Zhao *et al.*, 2011), pemisahan gas (Shen *et al.*, 2013), dan bahan bakar sel (Horimatsu *et al.*, 2013; Xiong *et al.*, 2008). Namun, CS masih memiliki beberapa kekurangan karena sifatnya yang rapuh dan hidroskopis.

Berdasarkan percobaan adsorpsi *batch*, komposit kitosan/Poli Vinil Alkohol (PVA) merupakan campuran yang dapat menyerap ion tembaga (Cheng *et al.*, 2010). CS dan PVA dengan rantai polimernya dapat berinteraksi secara hidrofobik, agregasi, ikatan hidrogen/intra-molekul. Kinerja yang baik dari kitosan dalam menyerap ion logam berat berhubungan dengan kapabilitas amina kitosan untuk membentuk ikatan kompleks pada permukaan logam berat dalam air. Pori yang terbentuk memberikan media penyerap untuk aksesibilitas logam berat karena adanya resistensi perpindahan massa dalam struktur berpori (Zeng *et al.*, 2004), sehingga memungkinkan untuk membentuk membran kitosan yang hidrofobik dan kuat.

Penelitian ini dilakukan untuk mempelajari pengaruh ratio komposisi membran dan kecepatan pengadukan terhadap kinerja membran kitosan dalam aplikasi filtrasi pada POME untuk penurunan COD dan BOD. Hasil penelitian diharapkan dapat menjadi alternatif metode pengolahan limbah POME dalam penurunan COD dan BOD sehingga dapat membantu mengatasi masalah pencemaran lingkungan.

Bahan dan Metode

Bahan dan alat

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah serbuk kitosan dengan derajat deasetilasi 85%, asam asetat 1,5% (v/v), larutan NaOH 1% (b/v), Poli vinil alkohol 5% (BM=72.000), dan Poli etilen glikol serbuk (BM=10.000), Hg₂SO₄, Ag₂SO₄, H₂SO₄, FAS 0,05 N, K₂Cr₂O₇ 0,1 N, MnSO₄ 1 N, larutan alkali, natrium tiosulfat 0,0125 N, indikator kanji dan indikator feroin. Alat-alat yang digunakan adalah pengaduk magnetik, neraca analitik, pemanas, oven, gelas beker, erlenmeyer, cawan petri, kondensator refluks, botol winkler dan inkubator BOD.

Pengambilan sampel dan pengukuran COD BOD

Limbah POME yang digunakan dalam penelitian ini merupakan *outlet cooling pond* yang telah melalui proses pendinginan dan pengendapan awal. Di laboratorium, sampel disimpan dalam wadah pada suhu 4°C. Pengukuran COD dilakukan dengan metode *Closed Reflux Titrimetric*, sedangkan pengukuran BOD dilakukan dengan metode Winkler (APHA, AWWA & WEF, 2005).

Sintesis membran

Membran yang dipakai disintesis menggunakan metode inversi fasa dengan penguapan pelarut pada suhu pengeringan 80°C (Cheng *et al.*, 2010). Membran dibuat dengan variasi rasio kitosan dan PVA sebesar 3:7, 4:6, 1:1, 6:4 dan 7:3 pada variasi pengadukan 100 rpm (rendah) dan 300 rpm (tinggi). Larutan kitosan ditambahkan dengan PVA dan 0,25 gr PEG dan diaduk hingga homogen. Larutan kemudian dicetak dan dikeringkan selama 24 jam. Film yang terbentuk direndam dalam larutan NaOH 1% untuk melepaskan film dari cetakan. Film membran dicuci menggunakan aquades terlebih dahulu sebelum digunakan.

Aplikasi filtrasi dengan reaktor cross-flow dan penentuan nilai fluks

Membran uji dipotong membentuk lingkaran dengan diameter 4 cm. Reaktor *cross-flow* digunakan pada tekanan 3 bar dan filtrasi dilakukan selama 50 menit dengan pengambilan *permeate* setiap 10 menit (Sari, 2014). Pengukuran permeabilitas dilakukan dengan pengujian fluks terhadap POME. Penentuan fluks membran diperoleh dengan mengukur volume *permeate* (filtrat) yang lolos melewati membran per satuan luas permukaan membran per satuan waktu.

Nilai Fluks dirumuskan sebagai berikut (Mulder, 1996):

$$J = \frac{V}{Axt}$$

Dimana :

J = Fluks (L/m².jam)

V = volume *permeate* (L)

A = Luas permukaan membran (m²)

t = Waktu (jam)

Selektivitas suatu membran merupakan ukuran kemampuan membran untuk menahan suatu spesi atau melewatkan suatu spesi tertentu. Selektivitas membran dipengaruhi oleh interaksi antar muka membran dengan spesi yang melewatinya, ukuran spesi dan ukuran pori permukaan membran. Pengukuran selektivitas membran dilakukan dengan pengujian nilai rejeksi membran terhadap nilai COD dan BOD. Nilai rejeksi (R) dirumuskan sebagai berikut (Mulder,1996):

$$R = 1 - \frac{C_p}{C_f} \times 100\%$$

Dimana :

R = Nilai rejeksi (%)

C_p = Konsentrasi zat terlarut dalam *permeate* (filtrat)

C_f = Konsentrasi zat terlarut dalam umpan.

Hasil dan Pembahasan

Karakteristik awal POME

Karakterisasi awal limbah sebelum aplikasi filtrasi menunjukkan bahwa nilai COD dan BOD melebihi baku mutu yang ditetapkan (Tabel 1). Nilai COD dan BOD limbah POME masing-masing

sebesar 21.941 mg/L dan 18.749 mg/L. Sedangkan baku mutu limbah industri kelapa sawit masing-masing sebesar 350 mg/L dan 100 mg/L (Peraturan Kementerian Lingkungan Hidup, 2014). Nilai tersebut sesuai dengan penelitian Rahardjo (2005) yang menyatakan bahwa nilai COD dan BOD dari limbah cair PKS PT. Kertajaya (setelah *fatpit* dan pengendapan awal) yaitu sebesar 25.000-36.000 mg/L dan 23.000-32.000 mg/L. Dalam produksi CPO, sabut buah sawit ditekan pada suhu tertentu hingga dapat dipisahkan kandungan minyak di dalamnya. Proses pengolahan buah sawit yang mengandung senyawa-senyawa organik rantai panjang ini menyebabkan dominasi senyawa-senyawa organik dalam air buangan sebagai bahan pencemar.

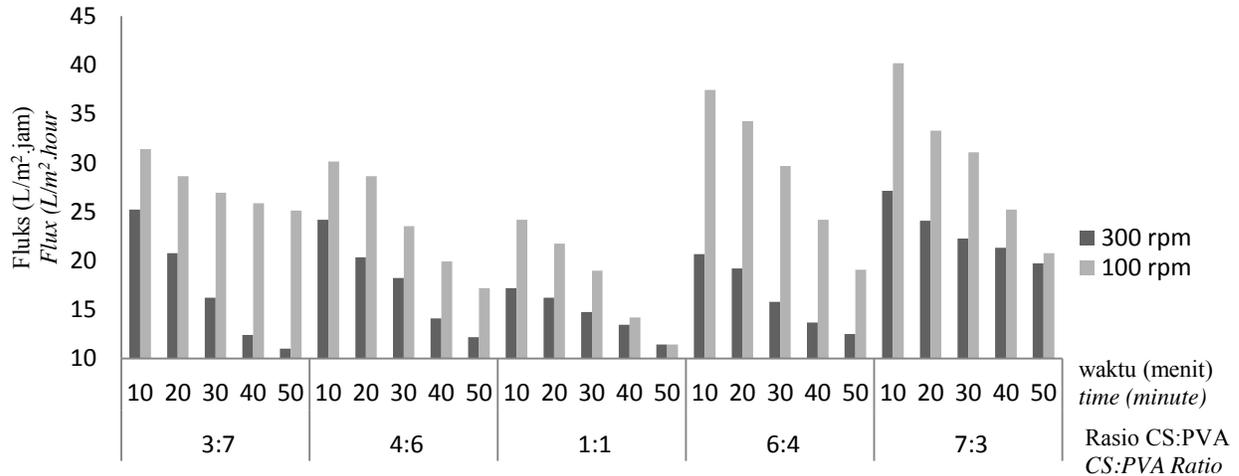
Pengaruh ratio CS:PVA membran dan kecepatan pengadukan terhadap nilai fluks

Nilai fluks berhubungan dengan efisiensi pemisahan pada proses filtrasi membran, nilai fluks dipengaruhi oleh struktur membran seperti distribusi ukuran pori, bentuk pori dan porositas. Berdasarkan Gambar 1, semakin lama waktu filtrasi maka semakin kecil fluks yang dihasilkan. Penurunan nilai fluks dikarenakan terjadinya *fouling* (penyumbatan) pada membran yang disebabkan oleh adsorpsi polutan limbah ke dalam membran, sehingga partikel-partikel terakumulasi dan membentuk lapisan pada permukaan dan pori dalam membran yang akan menyebabkan menurunnya fluks membran (Nasir *et al.*, 2013).

Tabel 1. Karakteristik kimia POME sebelum aplikasi filtrasi membran

Table 1. Chemicals Characteristic of POME before application of membrane filtration

Parameter <i>Parameter</i>	Satuan <i>Unit</i>	Karakteristik /Characteristics	
		Hasil analisa <i>Analysis results</i>	Baku mutu <i>Quality standards</i>
Temperatur	°C	30	30
pH	-	4,8	6-9
COD	mg/L	21,941	350
BOD	mg/L	18,749	100



Gambar 1. Pengaruh rasio CS:PVA dan kecepatan pengadukan terhadap fluks
 Figure 1. The effect of CS:PVA ratio and stirring speed on membrane flux

Penambahan kitosan dalam komposisi membran memberikan pengaruh terhadap nilai fluks. Nilai fluks pada konsentrasi CS 30% (ratio 3:7) hingga 50% (rasio 1:1) mengalami penurunan dengan penambahan kitosan, sedangkan pada konsentrasi CS 50%-70% (rasio 1:1 hingga 7:3) nilai fluks mengalami kenaikan. Hal ini diakibatkan pada rasio CS:PVA 3:7 hingga 1:1, peningkatan konsentrasi kitosan mencapai komposisi terbaik dengan PVA yang berfungsi membentuk film sehingga pori-pori membran terbentuk lebih rapat yang mengakibatkan fluks menurun, penambahan konsentrasi kitosan lebih lanjut akan merusak pembentukan membran karena adanya dominasi oleh sifat kitosan yang rapuh sehingga pori semakin besar dan mengakibatkan kenaikan pada nilai fluks.

Pada variasi kecepatan pengadukan tinggi (300 rpm), dihasilkan nilai fluks yang lebih rendah dibandingkan dengan kecepatan pengadukan rendah (100 rpm). Perbedaan tersebut disebabkan pada kecepatan tinggi, homogenisasi larutan dan pembentukan pori lebih sempurna (lebih rapat) dibandingkan dengan pengadukan pada kecepatan rendah.

Pengaruh rasio CS:PVA membran dan kecepatan pengadukan terhadap nilai rejeksi COD

Nilai rejeksi COD didapatkan dengan membandingkan nilai COD awal dan akhir aplikasi filtrasi untuk masing-masing variasi konsentrasi membran. Berdasarkan pada Gambar 2, semakin lama waktu filtrasi maka semakin besar nilai rejeksi COD dari permeate yang dihasilkan. Nilai rejeksi COD terbesar pada setiap variasi konsentrasi kitosan diperoleh pada menit ke 50. Nilai rejeksi COD

cenderung naik seiring dengan pertambahan waktu. Hal ini dikarenakan terjadinya *fouling* membran oleh masuknya polutan limbah ke dalam membran. Partikel-partikel yang terjebak dalam permukaan dan pori-pori membran memperkecil ukuran pori membran. Pori-pori membran yang semakin kecil menyebabkan peningkatan selektivitas membran sehingga bahan organik lebih sukar untuk lolos dari pori membran.

Nilai rejeksi COD tertinggi didapatkan pada rasio CS:PVA sebesar 1:1 pada kecepatan pengadukan 300 rpm di menit ke 50, yaitu 97,24%. Rasio komposisi membran pada proses pembuatan membran juga mempengaruhi nilai rejeksi membran. Pada konsentrasi CS 30% (rasio CS:PVA=3:7) hingga 50%, nilai rejeksi COD cenderung mengalami kenaikan dengan adanya penambahan konsentrasi kitosan dalam komposisi membran. Sedangkan pada komposisi CS 50% hingga 70% nilai rejeksi COD cenderung mengalami penurunan. Hal ini disebabkan pada ratio CS:PVA 3:7 hingga 1:1, peningkatan konsentrasi kitosan mencapai komposisi terbaik dengan PVA dan PEG sehingga pori-pori membran yang terbentuk berukuran kecil dan rapat. Sedangkan dengan kenaikan konsentrasi kitosan lebih lanjut akan memperbesar pori karena dominasi komposisi kitosan mengubah struktur membran menjadi rapuh yang mengakibatkan selektivitas terhadap COD semakin menurun. Berdasarkan nilai rejeksi COD yang mencapai lebih dari 70% pada berbagai variasi rasio membran dan kecepatan pengadukan menunjukkan bahwa membran memiliki kinerja lebih baik dari membran yang telah dibuat dalam merejeksi COD. Dewi (2013) dalam penelitiannya menyatakan bahwa membran mikrofiltrasi (MF) dan ultrafiltrasi

(UF) dapat secara efektif menurunkan kadar COD limbah cair berminyak dengan persen rejeksi untuk UF dan MF masing-masing sebesar 94-98% dan 48-65%.

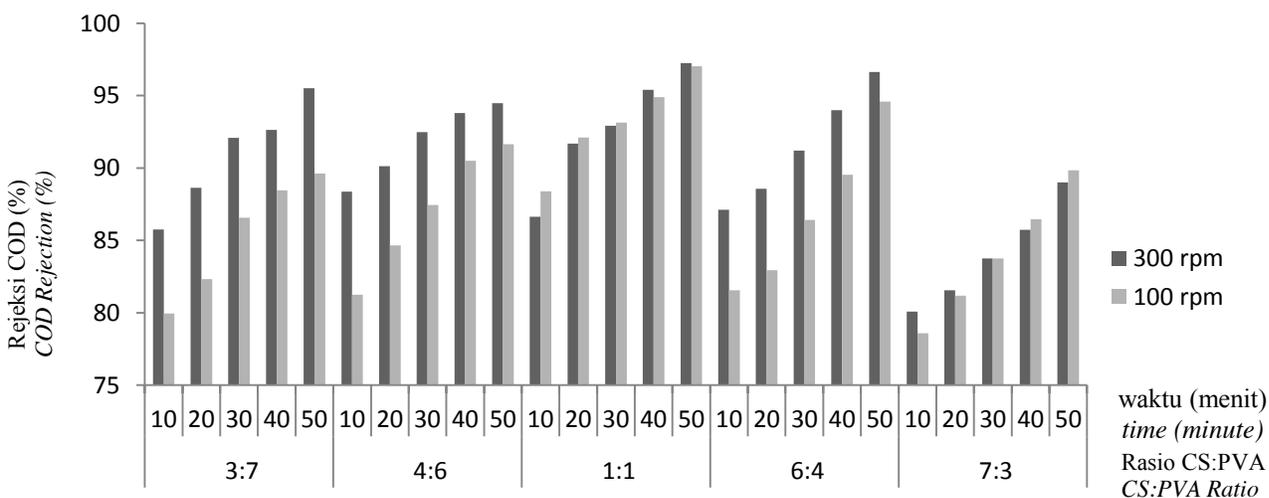
Kecepatan pengadukan pada proses pembuatan membran mempengaruhi nilai rejeksi COD membran. Kecepatan pengadukan tinggi menghasilkan nilai rejeksi COD lebih tinggi dibandingkan dengan kecepatan pengadukan rendah. Perbedaan nilai rejeksi ini disebabkan karena pada kecepatan tinggi, homogenisasi larutan dan pembentukan pori terbentuk lebih sempurna sehingga membentuk pori yang lebih rapat dibandingkan dengan pengadukan pada kecepatan rendah.

Pengaruh rasio CS:PVA membran dan kecepatan pengadukan terhadap nilai rejeksi BOD

Berdasarkan Gambar 3, semakin lama waktu pengoperasian membran, semakin besar nilai rejeksi BOD dari *permeate* yang dihasilkan. Hal ini disebabkan terjadinya penyumbatan pori oleh partikel yang tidak lolos sehingga pori-pori membran mengecil dan mengakibatkan jumlah *permeate* semakin kecil. Nilai rejeksi BOD tertinggi pada kecepatan pengadukan 300 rpm dan 100 rpm dihasilkan oleh membran dengan ratio CS:PVA sebesar 1:1 di menit ke 50 yaitu masing-masing sebesar 97,60% dan 95,32%.

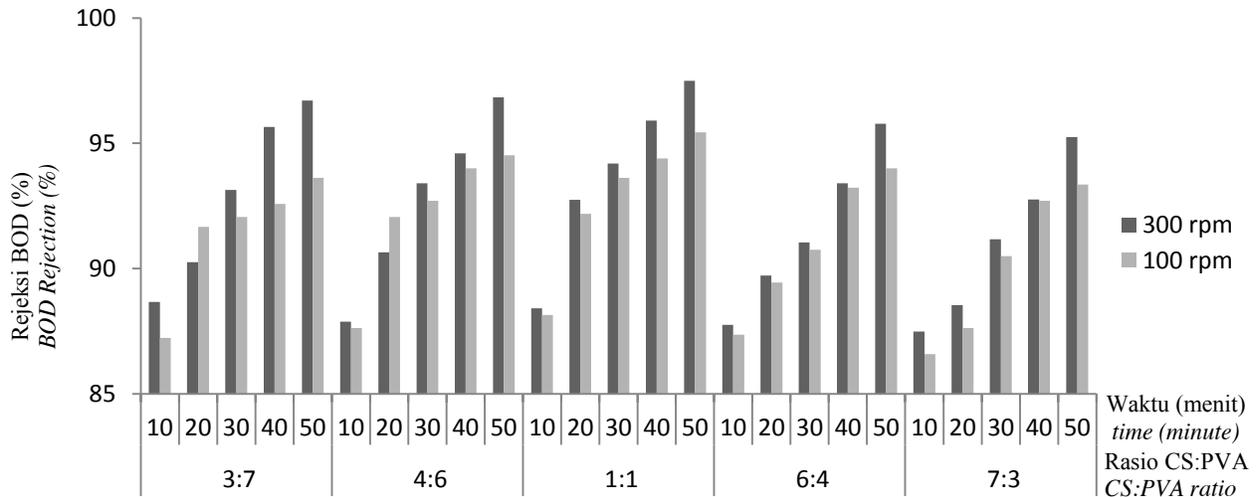
Pada membran dengan rasio CS:PVA 3:7 hingga 1:1, nilai rejeksi BOD cenderung mengalami kenaikan seiring penambahan konsentrasi kitosan dalam komposisi membran. Sedangkan pada rasio CS:PVA 1:1 hingga 7:3, nilai penurunan BOD cenderung mengalami penurunan. Rasio CS:PVA 1:1 merupakan komposisi paling efektif dari kitosan dan PVA serta PEG dalam membentuk pori pada membran sehingga dihasilkan membran dengan kinerja penurunan nilai BOD terbaik. Pada Gambar 3 dapat dilihat bahwa kecepatan pengadukan tinggi (300 rpm) menghasilkan nilai rejeksi BOD yang lebih tinggi dibandingkan dengan kecepatan pengadukan rendah (100 rpm). Perbedaan nilai rejeksi ini disebabkan karena pori membran lebih terbentuk sempurna dan rapat dibandingkan dengan pengadukan dengan kecepatan rendah.

Pada membran dengan rasio CS:PVA 3:7 hingga 1:1, nilai rejeksi BOD cenderung mengalami kenaikan seiring penambahan konsentrasi kitosan dalam komposisi membran. Sedangkan pada rasio CS:PVA 1:1 hingga 7:3, nilai penurunan BOD cenderung mengalami penurunan. Rasio CS:PVA 1:1 merupakan komposisi paling efektif dari kitosan dan PVA serta PEG dalam membentuk pori pada membran sehingga dihasilkan membran dengan kinerja penurunan nilai BOD terbaik.



Gambar 2. Pengaruh rasio CS:PVA dan kecepatan pengadukan terhadap rejeksi COD.

Figure 2. The effect of CS:PVA ratio and stirring speed on COD rejection.



Gambar 3. Pengaruh rasio CS:PVA dan kecepatan pengadukan terhadap rejeksi BOD.

Figure 3. The effect of CS:PVA ratio and stirring speed on BOD rejection.

Kesimpulan

Hasil penelitian menunjukkan bahwa konsentrasi kitosan dan kecepatan pengadukan memberikan pengaruh terhadap kinerja membran komposit kitosan dalam aplikasi filtrasi POME. Nilai fluks terbesar didapatkan pada membran dengan konsentrasi kitosan tertinggi dicapai pada rasio CS:PVA sebesar 1:1 dan kecepatan pengadukan 300 rpm. Berdasarkan pertimbangan nilai fluks dan nilai rejeksi COD-BOD, maka aplikasi filtrasi dengan membran komposit kitosan dapat diujicobakan pada instalasi pengolahan air limbah industri kelapa sawit.

Daftar Pustaka

APHA, AWWA & WPCF. (2005). *Standard methods for examination of water and wastewater*, 21st ed., APHA, AWWA, WPCF, Washington, DC.

Cheng Z, X Liu, M Han & W Ma (2010). Adsorption kinetic character of copper ions onto a modified chitosan transparent thin membrane from aqueous solution, *J. Hazard. Mater* 182, 408–415.

Dash M, F Chiellini, RM Ottenbrite & E Chiellini (2011). Chitosan—a versatile semisynthetic

polymer in biomedical applications. *J. Polym. Sci.* (36), 981–1014.

Horimatsu N, T Takahashi, D Kobayashi, A Shono & K Otake (2013). Development of polystyrene sulfonate/glycol chitosan hybrid membran for direct methanol fuel cell, *Desalination Water Treat* (51), 5254–5259.

Huang RH, GH Chen, MK Sun & CJGao (2008). Preparation and characterization of quaternized chitosan/poly (acrylonitrile) composite nano-filtration membran from anhydride mixture cross-linking, *Sep. Purif. Technol* (58), 393–399.

Huang RH, GH Chen, MK Sun & CJ Gao (2009). Preparation and characterization of composite NF membran from a graft copolymer of trimethylallyl ammonium chloride onto chitosan by toluene diisocyanate cross-linking, *J.Desalination* (239), 38–45.

Mulder M (1996). *Basic Principles of Membran Technology 2nd edd.* London, Kluwer Academic Publisher.

Nasir S, TSA Budi & I 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.

- Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Republik Indonesia (2014). Baku mutu air limbah bagi usaha dan/atau kegiatan industri minyak sawit, Jakarta.
- Rahardjo PN (2005). Permasalahan teknis instalasi pengolahan air limbah pabrik minyak kelapa sawit, studi kasus IPAL pabrik kelapa sawit PT. Kertajaya, Banten. *Jur.Tek. Lingkungan* (10), 09-18.
- Sari TK (2014). Pengolahan limbah laundry menggunakan membran nanofiltrasi zeolit aliran cross flow untuk filtrasi kekeruhan dan fosfat. (*Skripsi*). Jurusan Teknik Lingkungan, ITS, Surabaya.
- Setiawan DA, BD Argo & Y Hendrawan (2015). Pengaruh konsentrasi dan preparasi terhadap karakterisasi membran kitosan. *Jurnal Keteknik Pertanian Tropis dan Biosistem* 3(1), 95-99.
- Shen JN, CC Yu, GN Zeng & BVD Bruggen (2013). Preparation of a facilitated transport membran composed of carboxymethyl chitosan and polyethylenimine for CO₂/N₂ separation, *Int. J. Mol. Sci* (14), 3621–3638.
- Suseno N, A Tokok & S Atie (2003). Sistesis dan optimasi membran selulosa asetat pada proses mikrofiltrasi bakteri. *Jurnal Unitas* 11(2), 29-45.
- Widyasmara M & CK Dewi (2013). Potensi membran mikrofiltrasi dan ultrafiltrasi untuk pengolahan limbah cair berminyak. *Jurnal Teknologi Kimia dan Industri* 2(2), 295-307.
- Xiong Y, QL Liu, QG Zhang & AM Zhu (2008). Synthesis and characterization of cross-linked quaternized poly(vinyl alcohol)/chitosan composite anion exchange membrans for fuel cells, *J. Power Sources* (183), 447–453.
- Zeng MF, ZP Fang & CW Xu (2004). Novel method of preparing microporous membran by selective dissolution of chitosan/polyethylene glycol blend membran, *Journal Application Polymer Science* (91), 2840–2847.
- Zhao Q, QF An, YL Ji, JW Qian & CJ Gao (2011). Polyelectrolyte complex membrans for pervaporation, nanofiltration and fuel cell application *Journal Membrane Science* (379), 19-45.